INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

EN EL INTERIOR DEL CEREBRO | TRAS LA PISTA DE EL NIÑO | 300 AÑOS DE LA MUERTE DE LEIBNIZ

DICIEMBRE 2016 N.º 483

CLIMA
Tras las huellas de El Niño

HISTORIA
300 años de la muerte de Leibniz

EPIDEMIAS
Cómo prever y contener el zika

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

40 ANIVERSARIO 1976 - 2016

Diciembre 2016 InvestigacionyCiencia.es

Edición española de Scientific American

EN EL INTERIOR DEL CEREBRO

Una nueva técnica permite indagar en lo más profundo de las redes neurales

INFORME ESPECIAL
ESTADO DE LA CIENCIA GLOBAL 2016



6,90 EUROS

El mejor regalo para estas fiestas en

investigacionyciencia.es/regalos

¿Quieres compartir tu pasión por la ciencia, la innovación y el conocimiento?

1. Compra a través de la web y ahórrate un 10 % (hasta el 6 de enero).
2. Elige tu regalo (suscripciones, revistas, libros...).
3. Personaliza tu mensaje de felicitación.
4. Nosotros nos encargamos de que el destinatario reciba puntualmente tu obsequio y la tarjeta de felicitación a su nombre.



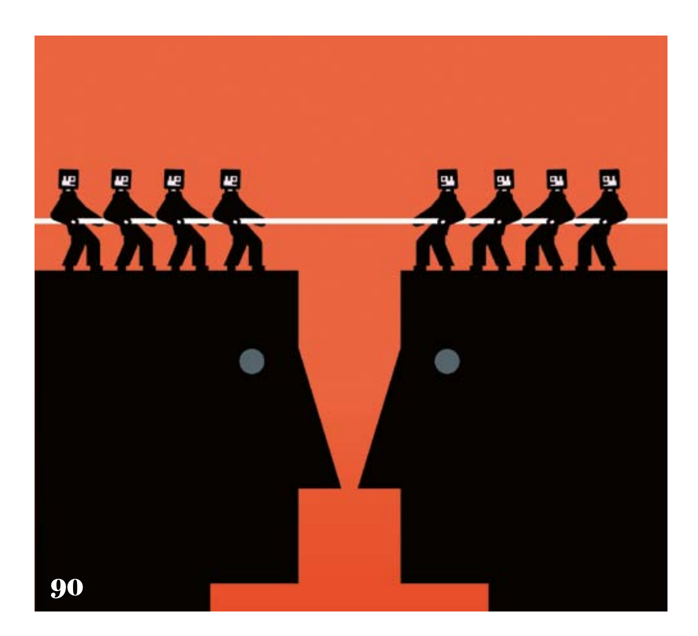


ARTÍCULOS

ESTADO DE LA CIENCIA GLOBAL 2016



48



INVESTIGACIÓN
Y CIENCIA

SECCIONES

EN PORTADA



Nuevas técnicas que eliminan las grasas del cerebro y embeben el tejido en hidrogel permiten observar el interior de este órgano sin alterarlo. Con ellas se pueden visualizar las estructuras que procesan la información sensorial, almacenan los recuerdos y nos ayudan a tomar decisiones, lo que nos permite avanzar en la comprensión de las bases biológicas de la salud y la enfermedad. Ilustración de Maciej Frolow.

redaccion@investigacionyciencia.es



Julio 2016

NACIDO DEL CAOS

En «Nacido del caos» [Investigación y Ciencia, julio de 2016], Konstantin Batygin, Gregory Laughlin y Alessandro Morbidelli sostienen que nuestro sistema solar es exótico por cuanto incluye varios planetas rocosos y de poco tamaño en órbitas muy cercanas al Sol. En la mayoría de los sistemas planetarios conocidos hasta ahora, en cambio, se han observado una o más supertierras orbitando en la proximidad de la estrella.

No obstante, dado que la era del hallazgo de exoplanetas no ha hecho más que empezar, y que los métodos empleados para detectarlos hacen que resulte mucho más sencillo observar planetas de gran tamaño cerca de sus respectivas estrellas, ¿cómo podemos estar seguros de que los sistemas planetarios descubiertos hasta ahora son típicos?

Peter Farson

«Si la era de los exoplanetas no ha hecho más que empezar, ¿cómo podemos saber que los sistemas planetarios descubiertos hasta ahora son típicos?»

Algunos episodios del escenario propuesto por los autores para explicar la formación del sistema solar parecen violar la ley de la conservación de la energía. Puedo imaginar que un planeta se precipite hacia el centro del sistema solar por efecto de la resistencia aerodinámica. Pero ¿de dónde sacaron los gigantes gaseosos la energía necesaria para acabar en una órbita más alejada? Además, si las órbitas de Júpiter y Saturno entraron en resonancia, para que uno pudiese caer hacia el Sol, el otro tendría que haberse alejado, pero es imposible que ambos se acerquen o se distancien al mismo tiempo sin violar la ley de la conservación de la energía.

Brandon Cole
Seattle

Responden los autores: *Sobre la primera cuestión, es cierto que, debido a las limitaciones de nuestras técnicas observacionales actuales, hoy por hoy es imposible descubrir otros sistemas planetarios análogos al nuestro. Sin embargo, los datos indican que entre el 70 y el 80 por ciento de las estrellas que vemos tienen planetas cuyas características no coinciden con las del sistema solar. Aún no sabemos si los sistemas planetarios parecidos al nuestro representan el 20, el 1 o el 0,01 por ciento, ya que por ahora no hemos descubierto ninguno más. Pero, a la espera de una respuesta observacional, usamos modelos teóricos para intentar entender qué procesos dieron forma al sistema solar tal y como lo conocemos, y cuán genéricos pudieron ser dichos procesos. Y, por lo que sabemos, la historia de nuestro sistema solar ha estado marcada por una sucesión de eventos específicos, cada uno de los cuales se antoja poco probable. Eso nos lleva a pensar que nuestro sistema planetario es poco común, aunque no seamos capaces de cuantificar cuán exótico es.*

Con respecto a la segunda pregunta, los planetas no migran hacia el interior por efecto de la resistencia aerodinámica del gas, sino por su interacción gravitatoria con el disco de gas y polvo que rodea a la estrella, a partir del cual se forman los planetas. Dado que, en la zona interior a la órbita de un planeta, el disco gira alrededor de la estrella más rápido que el planeta, este último se ve empujado hacia fuera. Al mismo tiempo, la zona exterior del disco gira más despacio que el planeta, lo que lo impulsa hacia el interior. Por tanto, el sentido de migración del objeto dependerá de la importancia relativa de los discos interior y exterior. En el caso de un planeta solitario, el disco interior se encuentra bastante vacío en comparación con el exterior, ya que el planeta bloquea parte del flujo de gas que llega desde fuera, por lo que se impone la influencia del disco más externo.

En cuanto a Júpiter y Saturno, sin embargo, el gas es transportado con eficiencia desde el disco exterior hacia el interior. Como consecuencia, este último adquiere una gran masa y tiende a empujar ambos planetas hacia fuera. La migración de Júpiter y Saturno no viola ninguna ley de conservación, ya que sus cambios quedan compensados por los que tienen lugar en el disco. Si Júpiter y Saturno se desplazan hacia fuera, el disco se mueve hacia dentro, y viceversa.

Errata corrige

En **La renovación del kilogramo**, de Knvul Sheikh [Apuntes; Investigación y Ciencia, septiembre de 2016] se afirma sobre el patrón del kilogramo que «la menor cantidad de polvo, humedad o grasa de las yemas de los dedos, así como la mínima expansión o contracción, podrían alterar la masa del cilindro». La mención a la expansión y la contracción debe eliminarse.

En **Una historia estratificada**, de Jan Zalasiewicz [Investigación y Ciencia, noviembre de 2016], se expone que «al inicio del Holoceno, hace 11.700 años, [...] el nivel del mar subió 120 metros en todo el globo». Esa subida del nivel del mar debe datarse en la transición entre el Pleistoceno y el Holoceno, hace entre 18.000 y 8000 años. Más adelante, el recuadro **¿Cuándo comenzó el Antropoceno?** da a entender que tanto el plutonio 239 como el 240 se desintegrarán en uranio 235. Dicho proceso solo ocurrirá con el plutonio 239.

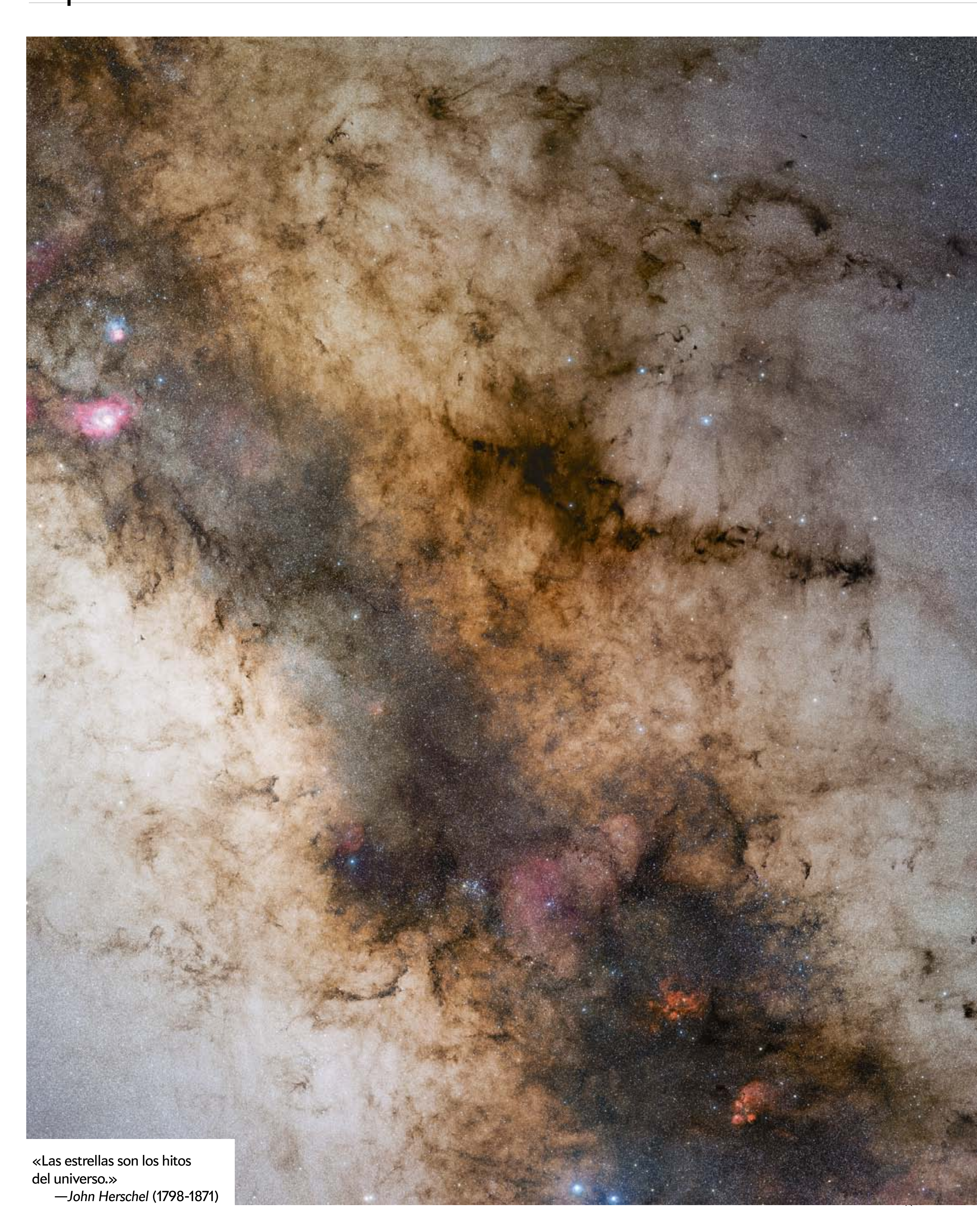
En **La crisis de los antibióticos**, de Joan Gavaldà [Investigación y Ciencia, noviembre de 2016], se afirma que las bacterias resistentes conllevan 2.500.000 estancias hospitalarias en la UE; en el mismo párrafo, se estiman en 5 billones de euros los costes de los fallecimientos en Europa y la Estados Unidos. La primera cifra se refiere a días adicionales de hospitalización, no a estancias; la segunda, a todos los costes asociados, y su verdadero valor es 5000 millones de euros.

Estos errores han sido corregidos en la versión digital de los artículos correspondientes.

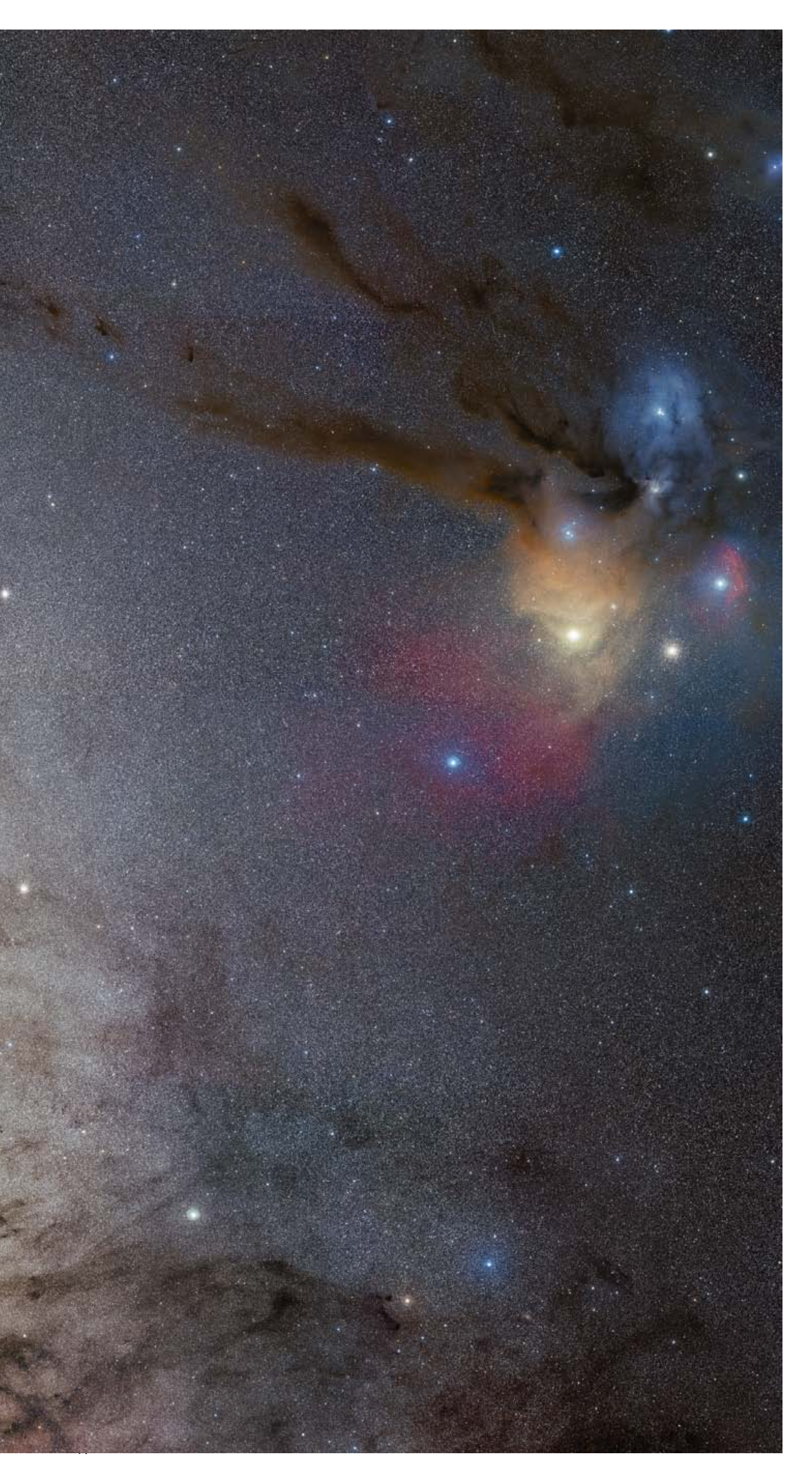
CARTAS DE LOS LECTORES

Investigación y Ciencia agradece la opinión de los lectores. Le animamos a enviar sus comentarios a:
PRENSA CIENTÍFICA, S.A.
Muntaner 339, pral. 1.ª, 08021 BARCELONA
o a la dirección de correo electrónico:
redaccion@investigacionyciencia.es

La longitud de las cartas no deberá exceder los 2000 caracteres, espacios incluidos. Investigación y Ciencia se reserva el derecho a resumirlas por cuestiones de espacio o claridad. No se garantiza la respuesta a todas las cartas publicadas.



«Las estrellas son los hitos del universo.»
—*John Herschel* (1798-1871)



ASTRONOMÍA

La Vía Láctea, transformada

El mapa celeste que confeccionará la misión Gaia permitirá conocer mucho mejor la física de las estrellas y la historia de nuestra galaxia

Dentro de poco los astrónomos podrán desplegar un nuevo mapa de la realidad cósmica. Durante los próximos cinco años, la nave espacial Gaia, lanzada a finales de 2013 por la ESA, cartografiará con un detalle sin precedentes las estrellas de la Vía Láctea. El primer conjunto de datos se dio a conocer el pasado mes de septiembre; una vez concluida, la misión habrá establecido las posiciones precisas de unos 1000 millones de estrellas. Además, su elevada resolución le permitirá localizar objetos con un tamaño aparente de hasta cinco microsegundos de arco, la extensión que mostraría una moneda pequeña situada en la Luna. La cámara de la nave, de 1000 millones de píxeles, también permitirá medir la distancia a cada estrella y su velocidad bidimensional.

Para Kathryn Johnston, astrónoma de la Universidad de Columbia, confeccionar este mapa estelar resultará análogo a cartografiar por primera vez los continentes de la Tierra: transformar la imagen de un borroso globo verde y azul en la de un planeta con montañas, ríos y valles. «Es extraño, pero conocemos el aspecto de nuestra galaxia casi peor que el de otras», señala Johnston. Ello se debe a lo difícil que resulta

tomar imágenes de una galaxia desde su interior: precisamente lo que hará Gaia.

Timo Prusti, científico de la misión, señala que ya el día posterior a la publicación de los primeros datos, más de 10.000 personas habían accedido a ellos. Ese primer conjunto de coordenadas incluye las posiciones preliminares de 1000 millones de estrellas, así como las distancias y las velocidades laterales de dos millones. Cada nueva publicación incluirá estrellas más y más lejanas, lo que proporcionará una serie de mapas sucesivos del cielo centrados en el Sol.

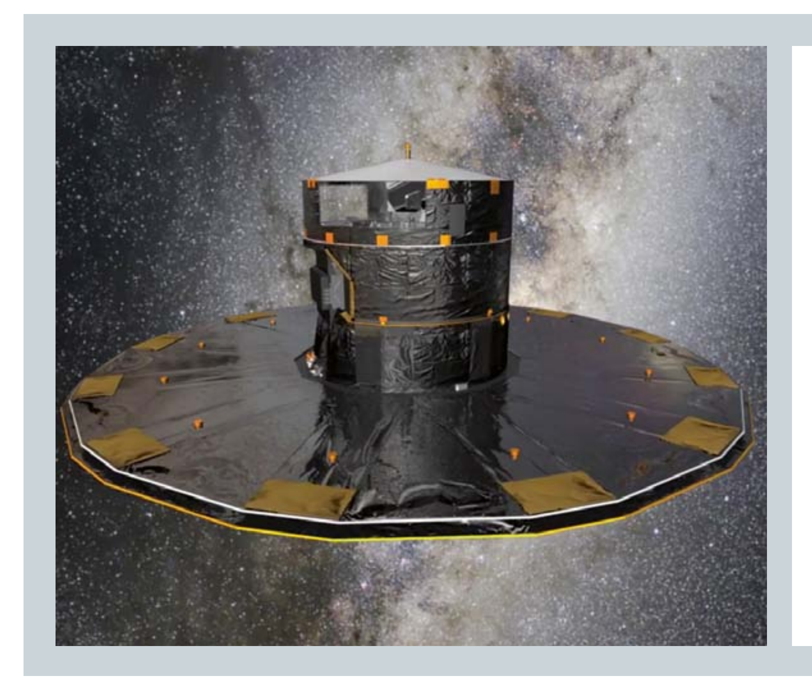
Los primeros datos ya han permitido zanjar una antigua controversia sobre la distancia al cúmulo de las Pléyades, también conocido como las Siete Hermanas. El debate nació a partir de los datos de la misión Hipparcos, la predecesora de Gaia. Y, a falta de un valor preciso para su distancia, resultaba imposible determinar con certeza el radio y la luminosidad de las estrellas. En el caso de las Pléyades, el valor correcto reviste importancia por cuanto se considera un cúmulo de referencia para estudiar la formación estelar. «La teoría de las estrellas jóvenes es delicada», comenta Prusti. «Dado que son inestables, las alternativas abundan, por lo que es realmente necesario disponer de observaciones precisas para restringir los modelos.»

Otros grupos de investigación están usando los nuevos datos para investigar estrellas poco comunes (muy tenues o muy brillantes, así como aquellas que se mueven demasiado deprisa o despacio). «Las astrónomos creemos entender bastante bien el funcionamiento de las estrellas», apunta David Spergel, de la Universidad Princeton. «Pero sospecho que, una vez que tengamos mejores datos, descubriremos que, aunque comprendemos las ideas básicas, hay cosas que creíamos saber y que en realidad desconocíamos.» Gaia también buscará planetas en torno a otras estrellas; aunque aún no ha descubierto ninguno, se espera que detecte miles o incluso decenas de miles de ellos.

Tras el botín de septiembre, los astrónomos aguardan con impaciencia los próximos resultados (habrá cuatro publicaciones más). «Aunque ya podemos hacer mucha ciencia con los primeros datos, no será nada comparado con lo que tendremos al final de la misión», asegura David Hogg, astrónomo de la Universidad de Nueva York. El mapa completo, que se espera para 2022, permitirá abordar el principal objetivo científico de Gaia: desentrañar la estructura y la dinámica de nuestra galaxia y reconstruir su violenta historia. Se sabe que algunas de las estrellas de la Vía Láctea nacieron en galaxias mucho menores, que, más tarde, fueron engullidas por la nuestra. Sus restos forman hoy tenues corrientes de estrellas que surcan el cielo y cuyas propiedades aportan indicios sobre la cronología de nuestro entorno cósmico. «Descubriremos galaxias antiguas, las órbitas que describían y las estrellas asociadas a ellas. Eso nos permitirá reconstruir la historia de nuestra galaxia mientras devoraba a otras», explica Johnston [*véase* «Los fósiles de la Vía Láctea», por Kathryn V. Johnston; Investigación y Ciencia, febrero de 2015].

Es imposible saber cuál será el legado completo de Gaia. Al margen de su misión principal, el instrumento observará miles de objetos del sistema solar, trazará la distribución de la materia oscura en la Vía Láctea y cartografiará las posiciones de cientos de miles de cuásares, los núcleos brillantes de galaxias muy antiguas. Prusti añade que, a largo plazo, Gaia también mejorará las observaciones de otros telescopios, ya que los astrónomos sabrán con exactitud a dónde apuntarlos. Mientras, Hogg ha organizado los Gaia Sprints: encuentros en Nueva York y Heidelberg para que astrónomos de todo tipo puedan explorar los datos en un entorno cooperativo. «La gente está emocionada porque se trata de un mundo nuevo. El primer conjunto de datos no ha sido más que un aperitivo de lo que vendrá.»

—Shannon Hall, con información adicional de Sara Goudarzi





EN CIFRAS

1,5 millones de kilómetros

Distancia de Gaia a la Tierra



50×

Resolución de la cámara de Gaia en comparación con la del telescopio Hubble



30×

Cantidad de luz que pueden captar los espejos primarios de Gaia en comparación con el satélite Hipparcos

70

Número de veces que Gaia observará cada uno de sus 1000 millones de objetivos celestes

PÁGINAS PRECEDENTES: CORTESÍA DE STÉPHANE GUISARD Y OBSERVATORIO EUROPEO AUSTRAL; ESTA PÁGINA: CORTESÍA DE C. CARREAU/ESA (*imagen*); FUENTES: ESA (*distancia, espejo primario, número de observaciones*); «ASTROMETRY: EUROPE'S STAR POWER», POR DEVIN POWELL EN *NATURE*, VOL. 502, 2 DE OCTUBRE DE 2013 (*resolución*)

NEUROCIENCIA

El doble sentido divide nuestra atención

Como un dúo cómico, los hemisferios cerebrales interpretan papeles distintos en el procesamiento del humor

El doble sentido suscita opiniones dispares en el ámbito de la comedia. Los críticos aducen que es la menos ingeniosa de las ocurrencias para arrancar risas. Pero algunos escritores, como el mismísimo Shakespeare, recurren a él sin mesura. El propio cerebro parece dividido por los juegos de palabras, según un reciente estudio publicado en *Laterality: Asymmetries of body, brain and cognition*. Los resultados apuntan a que el hemisferio derecho y el izquierdo cumplen cometidos distintos en el procesamiento de estos y que la comunicación entre ambos es imprescindible para rematar el chiste.

Para comprobar de qué modo maneja el cerebro este tipo de humor, investigadores de la Universidad de Windsor, en Ontario, mostraron a los participantes un vocablo relacionado con un juego de palabras en el campo visual izquierdo o derecho (regidos por el hemisferio opuesto del cerebro, derecho e izquierdo). Seguidamente analizaron el tiempo de reacción de los sujetos en cada situación a fin de averiguar qué hemisferio era el dominante. El izquierdo, el hemisferio del lenguaje, es el encargado de procesar la mayoría de los aspectos lingüísticos del juego de palabras, mientras que el derecho se pone en marcha un poco más tarde para revelar el doble sentido de la palabra, explica Lori Buchanan, profesora de psicología y autora del estudio.

Esa interacción permite entender el chiste, como una forma de juego de palabras, pues completa la fórmula básica del humor: la suma de expectación e incongruencia da como resultado la risa. En los dobles sentidos, donde las palabras adquieren significados ambiguos, el contexto de la frase nos prepara para interpretar la palabra de forma específica, un proceso que tiene lugar en el hemisferio izquierdo. La risa se desata cuando, un poco más tarde, el hemisferio derecho nos da pistas acerca del otro significado inesperado de la palabra, desencadenando lo que Buchanan califica como una «reinterpretación sorpresiva».

El estudio concuerda con las observaciones precedentes de que las lesiones cerebrales que afectan al hemisferio derecho pueden acarrear déficits en el sentido del humor de algunas personas, que entienden el significado de la broma pero «opinan que no es graciosa», aclara Buchanan. Espera que este y futuros estudios puedan facilitar la rehabilitación para que esas personas recobren el sentido del humor. —*Roni Jacobson*

ETOLOGÍA

Complejidad social y capacidad cognitiva

Nuevos experimentos con leones indican que la naturaleza social fomenta la cognición superior en los animales

Un león africano observa con atención una caja de madera colgada: contiene un pedazo de carne cruda. Si quiere disfrutar del bocado tendrá que tirar de la cuerda de la que pende la caja, que está anudada al muelle de cierre de su trampilla. El propósito de ello es poner a prueba la capacidad cognitiva de este felino emblemático.

La hipótesis de la inteligencia social plantea que la vida en grupo exige el dominio de competencias tales como saber quién es amigo y enemigo, las cuales han impulsado a los animales gregarios a desarrollar la maquinaria mental necesaria para resolver y recordar tareas como el acertijo de la caja. En otras palabras, la complejidad social propicia la complejidad cognitiva.

Esa idea ha sido puesta a prueba en mamíferos como los chimpancés, los delfines y los elefantes, pero la bióloga Natalia Borrego, de la Universidad de Kwa-Zulu-Natal, en Sudáfrica, ha optado por los grandes felinos. «Existen muchísimas especies estrechamente emparentadas que afrontan diversas constricciones ecológicas y presentan sistemas sociales distintos», explica.



THOMAS FUCHS (*cerebro*); KOBUS SCHOEMAN, GETTY IMAGES (*león*)

Borrego y su equipo sometieron al acertijo de la cuerda a doce leones criados en cautividad en el parque Lion Country Safari, en Florida. Once se salieron con la suya: siete por sí solos y cuatro después de observar a otro león. Diez de ellos recordaron la solución entre cinco y siete meses después. Los resultados se han publicado en la revista *Animal Cognition*.

«Que recuerden lo que han aprendido no es ninguna novedad», sentencia la psicóloga cognitiva de la Universidad de Oakland Jennifer Vonk, que estudia la cognición en los osos. Lo que sí despierta sumo interés, a su parecer, es la facilitación social, el hecho de que algunos den con la solución cuando permanecen al lado de otro congénere. «No siempre sabemos ver ese tipo de efectos, ni siquiera en los primates», añade.

En un experimento de seguimiento con un problema conceptual similar, los leones superaron a los leopardos y a los tigres (felinos de costumbres solitarias), lo que añade más pruebas a favor de la hipótesis de la inteligencia social. Pero Borrego reconoce que el hábitat y la alimentación también pueden condicionar la evolución cognitiva. «La evolución de la complejidad cognitiva es compleja de por sí», asegura.

—*Jason G. Goldman*

SISTEMA SOLAR

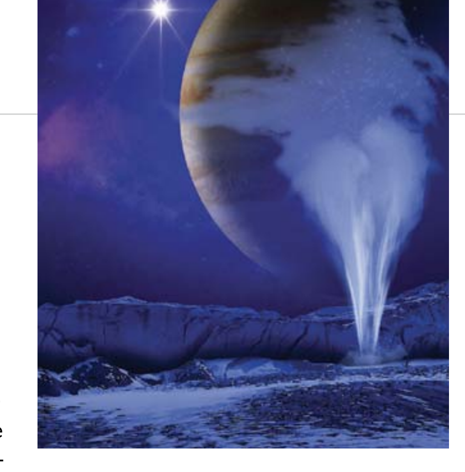
Una esperanza de acceder al agua de Europa

El vapor que parece brotar de la luna de Júpiter promete una vía para explorar su océano subsuperficial

Un nuevo estudio publicado en el *Astrophisical Journal* sugiere que el océano subsuperficial de Europa, la helada luna de Júpiter, podría estar expulsando chorros intermitentes de vapor de agua. El hallazgo lleva a pensar que el océano, el cual se cree situado bajo una capa de hielo que podría alcanzar los 100 kilómetros, tal vez sea más apto para la vida de lo que se pensaba. Y también más accesible para los astrobiólogos: según William Sparks, primer autor del artículo y astrónomo del Instituto para la Ciencia del Telescopio Espacial, la existencia de géiseres en Europa «plantea la posibilidad de explorar su océano en busca de sustancias orgánicas o incluso de señales de vida sin tener que perforar a través de un número indeterminado de kilómetros de hielo». Los surtidores indicarían, además, que el interior de Europa alberga una potente fuente de calor capaz de sustentar seres vivos.

Con ayuda del espectrógrafo del telescopio espacial Hubble, Sparks y su equipo observaron Europa diez veces entre finales de 2013 y principios de 2015, mientras el satélite pasaba por delante de Júpiter. Al estudiarlo en el ultravioleta (una frecuencia en la que la superficie de este mundo se muestra oscura), los investigadores buscaron indicios de chorros de vapor, definidos por el contraste con el brillante y liso paisaje nuboso de Júpiter. Un intenso procesamiento de imágenes reveló lo que parecían ser tres sombras que se elevaban sobre el borde meridional de la luna. Si se tratase de géiseres —y no de un efecto espurio causado por los instrumentos del telescopio— los expertos calculan que podrían contener varios millones de kilogramos de agua, la cual ascendería hasta unos 200 kilómetros sobre la superficie.

Spark reconoce que es frustrante que los resultados de su equipo sean tan nebulosos. «Estas observaciones están en el límite de lo que el Hubble puede ver», explica. «No estamos diciendo que hayamos descubierto géiseres, sino solo indicios de tal actividad.» En 2014, la revista *Science* publicó resultados similares, pero observaciones posteriores parecieron indicar que los brotes, o habían cesado, o nunca habían estado allí. Britney Schmidt, planetóloga del Instituto de Tecnología de Georgia que no participó en la investigación, sostiene que la probabilidad de que estas observaciones reflejen un efecto real es la misma que la de las últimas detecciones.



La cautela está justificada: la presencia o ausencia de géiseres en Europa podría alterar de manera drástica el futuro de las exploraciones interplanetarias y condicionar el destino de miles de millones. Al respecto, la NASA y la ESA ya están pensando en enviar misiones a la fascinante luna joviana para la década de 2020. —*Lee Billings*

BIOLOGÍA

Nuevas funciones de los lisosomas

Estos orgánulos son mucho más que los responsables de la recogida de los desechos celulares

Antaño se pensaba que el lisosoma era un simple cubo de basura, el destino final de los desperdicios de la célula, donde se procedía a su eliminación. Pero cada vez son más los indicios que señalan a esta vesícula repleta de enzimas como encargada de más cometidos que el citado, y algunos especialistas comienzan a considerarlo un centro de control del metabolismo celular. Los descubrimientos acaecidos en la última década han elevado el lisosoma a la categoría de un centro implicado en el control del crecimiento y de la supervivencia de la célula, opina Roberto Zoncu, biólogo celular de la Universidad de California en Berkeley. En un artículo de revisión publicado en el número de septiembre de *Journal of Cell Biology*, el experto analiza cómo ha cambiado el concepto de este orgánulo.

Como aprenden los estudiantes de bachillerato, el lisosoma es el responsable de la eliminación y del reciclaje de los residuos. En un proceso conocido como autofagia (autodigestión), capta los componentes celulares viejos y grandes moléculas que han dejado de ser útiles, como proteínas, ácidos nucleicos y glúcidos, y los digiere con la ayuda de enzimas y ácidos. La célula reutiliza esas piezas desmontadas como combustible o como elementos de construcción para la síntesis de nuevas moléculas. Entender este proceso es tan importante que el pasado octubre se concedió a Yoshinori Ohsumi el premio Nobel de fisiología o medicina por sus trabajos sobre la autofagia en la década de 1990. Pero al parecer no acaban ahí las facultades del orgánulo.

Una línea de investigación en marcha indica que el lisosoma tiene la capacidad de percibir el estado nutricional de la célula y, por extensión, el del organismo entero. Cuando un ser vivo permanece en ayuno o padece hambre, el orgánulo indica a la célula que ha de fabricar más lisosomas para que sus enzimas movilicen las reservas de grasa como combustible para generar energía. Y viceversa, cuando el organismo está ahíto, avisan a la célula de que hay recursos disponibles para destinar al crecimiento o la reproducción. En esencia, el lisosoma actúa como un interruptor principal para que la célula alterne entre la degradación o la acumulación de moléculas (catabolismo y anabolismo), explica Andrea Ballabio, genetista del Instituto Telethon de Genética y Medicina, en Italia, que estudia la función de los lisosomas en la salud. Dada su capacidad para controlar el metabolismo de los lípidos, Eyleen O'Rourke, bióloga de la Universidad de Virginia, augura que los lisosomas podrían servir como diana para el tratamiento de ciertas metabolopatías, entre ellas la obesidad.

Esa nueva visión del lisosoma trasciende el ámbito del metabolismo, pues parece también involucrado en la esperanza de vida y la longevidad. Algunos estudios han demostrado que cuando el orgánulo no funciona correctamente, el organismo no vive tanto, tal vez debido a la acumulación de los desechos celulares y de otros residuos. Hay quien comienza a creer que el lisosoma podría ser el culpable de algunas enfermedades neurodegenerativas, a tenor de los estudios de algunos investigadores de la Universidad de Nueva York, que achacan el avance del alzhéimer a un defecto en un gen lisosómico. Si algo dejan en claro todos estos estudios es que el lisosoma ha dejado de ser un elemento sin porvenir. Más bien podría erigirse en el camino para avanzar hacia una nueva generación de medicamentos providenciales. —*Monique Brouillette*

CORTESÍA DE LA NASA, LA ESA Y KURT RETHERFORD/INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DEL SUDOESTE



1

Holbøll junto a un vano entre electrodos esféricos de alto voltaje (*1*). Transformador monofásico de 400.000 voltios (*2*).

2



ENERGÍA EÓLICA

Protección de alto voltaje

Un laboratorio danés investiga cómo mantener los aerogeneradores a salvo de los rayos

Los aerogeneradores son como un imán para los rayos. En caso de impacto, el efecto puede ser devastador: las aspas explotan y los generadores y la electrónica del sistema de control se queman. Por esa razón, varios fabricantes han pedido ayuda al Laboratorio de Alto Voltaje de la Universidad Técnica de Dinamarca. Mediante versiones gigantes de dispositivos eléctricos corrientes (vanos entre electrodos esféricos, transformadores, condensadores), sus instalaciones permiten generar arcos eléctricos de hasta 800.000 voltios. Gracias a ello, las empresas pueden comprobar cómo reaccionarán sus turbinas ante un pico de tensión.

«Muchos laboratorios de alto voltaje parecen de los años sesenta», observa Joachim Holbøll, vicedirector del Centro para la Energía Eléctrica de la universidad. «Pero estamos haciendo un trabajo necesario con el instrumental más moderno. Siempre habrá componentes que parecerán anticuados, pero funcionan.»

Hay otro problema que el laboratorio también intenta abordar. Hoy en día, algunos aerogeneradores son tan altos que, a menudo, desprenden «rayos ascendentes»: estos se originan a partir del propio campo eléctrico de la turbina y salen desde la punta de un aspa al encuentro de un rayo descendente. Holbøll explica que la trayectoria del rayo no cambia el tipo de protección necesaria, pero entender su dinámica es importante para modelizar la frecuencia con que impactan en un parque eólico, un fenómeno en cuya descripción teórica y computacional está trabajando el laboratorio. En 2015, la energía eólica generó el 42 por ciento de la electricidad consumida en Dinamarca. —*Karl J. P. Smith*

ALASTAIR PHILIP WIPER (*electrodos y transformador*); DUNCAN WALKER, GETTY IMAGES (*olfato*)

OLFATO

Apesta a cobre

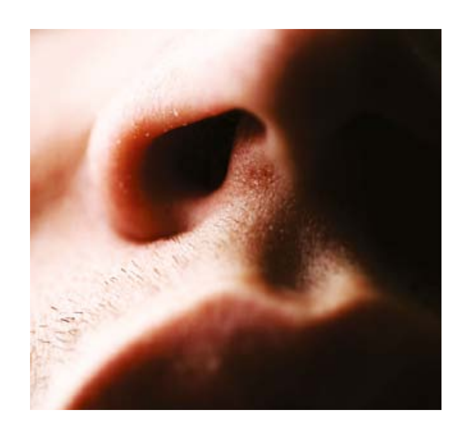
El metal potencia los olores sulfurosos en la nariz

Las fugas de gas, el aliento a ajo, la presencia de mofetas en el vecindario, ¡ay, el aroma de los tioles! El olfato humano destaca por su gran sensibilidad a esos compuestos sulfurosos, algo nada sorprendente si se tiene en cuenta su frecuente vínculo con sustancias nocivas. ¿Pero cuál es la razón exacta por la que nuestros orificios nasales (y los de otros mamíferos) se muestren tan sensibles a los tioles, cuando otros olores, como el de la lejía o el del vinagre, precisan mayores concentraciones en el aire para ser percibidos?

Esa sensibilidad exacerbada tiene su origen en el metal cobre, según un equipo de químicos de Estados Unidos y China. Tal y como explicaban este otoño en *Journal of the American Chemical Society*, descubrieron que los mismos receptores nasales que captan esas moléculas fétidas se unen con las partículas de cobre que residen en la mucosidad nasal. El componente metálico multiplica hasta por mil la intensidad del tiol. Y en experimentos en que se crearon receptores del tiol que no podían unirse al cobre, la sensibilidad olfativa a esos compuestos desapareció casi por completo.

Evolutivamente, vale la pena poseer una nariz que perciba cantidades ínfimas de tioles en el ambiente, afirma uno de los autores del estudio, Eric Block, químico de la Universidad estatal de Nueva York en Albany. Por ejemplo, los alimentos en descomposición desprenden compuestos sulfurosos y algunos depredadores dejan rastros olorosos de esa naturaleza que delatan su presencia.

Es la primera vez que se vincula un metal con el sentido del olfato, por lo que el estudio seguramente animará a otros a indagar en la influencia de otros elementos metálicos en este sentido, asegura Robert Crabtree, químico de la Universidad Yale. Crabtree conjeturó por primera vez sobre el papel del cobre en la percepción olfativa de los tioles en 1977. —*Mark Anderson*



AGENDA

CONFERENCIAS

1 de diciembre
Buscando rastros de vida en Marte
Jorge Vago, ESA/ExoMars
Museo de las Ciencias Príncipe Felipe
Valencia
www.cac.es/astronomia > actividades

3 y 15 de diciembre — Ciclo
Ramon Llull: Su vida, su obra, su tiempo
Amador Vega, Universidad Pompeu Fabra
Fundación Juan March
Madrid
www.march.es > conferencias



EXPOSICIONES

Hasta el 4 de diciembre
La energía nos mueve: Ciencia para una energía más limpia, sostenible y accesible
CSIC
Sala de Exposiciones Aída García Couto
Paracuellos de Jarama
www.ciudadciencia.es > agenda

Más allá del laboratorio: La revolución científica del «hazlo tú mismo»
Parque de las Ciencias
Granada
www.parqueciencias.com > exposiciones

OTROS

15 de diciembre — Tertulia del Club de los Lunáticos
¿Cuál fue el cuerpo extraterrestre que aceleró la extinción de los dinosaurios?
Jordi Aloy, Fundación La Caixa
Museo de Ciencias Naturales
Barcelona
agenda.museuciencies.cat

Hasta el 25 de diciembre — Actividad en línea
Cazadores de rayos gamma
Aplicación web de astrofísica de altas energías para estudiantes de secundaria
Instituto de Física de Altas Energías
www.cazadoresderayosgamma.com

ETOLOGÍA

Temperamento animal

La personalidad individual tiende a amoldarse a la dinámica del grupo

Como cualquier propietario de un animal de compañía afirmará, los humanos no somos los únicos dotados de personalidad. Y ese rasgo no se limita a los perros y los gatos.

En los últimos años se ha descubierto que los miembros de numerosas especies, desde los cangrejos ermitaños hasta las ratas o ciertos peces, hacen gala de un temperamento propio, esto es, demuestran diferencias de comportamiento permanentes en el tiempo y ante diversas situaciones.

Pero ¿cómo afectan las situaciones sociales a la personalidad de cada individuo? Christos C. Ioannou, biólogo de la Universidad de Brístol, y sus colaboradores han intentado averiguarlo recurriendo al espinosillo (*Gasterosteus aculeatus*), un pequeño pez habitante de las aguas salobres que bañan las costas del hemisferio norte. En la naturaleza, han hallado tanto individuos como grupos sociales, lo que los convierte en especímenes perfectos para el estudio de la personalidad en entornos diversos, afirma Ioannou.

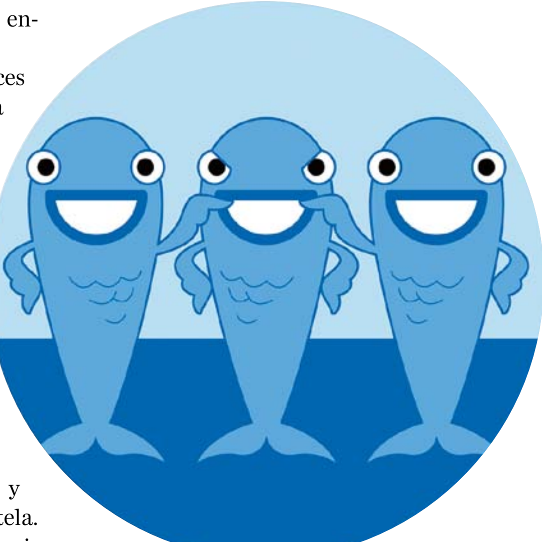
Los investigadores tomaron 80 peces y los introdujeron bajo una cubierta protectora en un extremo del acuario. En el lado opuesto depositaron un poco de comida. Cruzar el acuario supone un movimiento arriesgado para el espinosillo, pues la posibilidad de ser cazado siempre es superior en las aguas abiertas.

Cada pez se comportó del mismo modo con el paso de los días. Los más osados no tardaban en abandonar su refugio para saciar el hambre; los tímidos vacilaban más y nadaban por el acuario con más cautela. Pero cuando se depositaron diez espinosillos juntos bajo la cubierta, la personalidad de cada cual se desvaneció. A semejanza de los humanos, los más atrevidos actuaron como líderes del grupo, aunque haciendo gala de prudencia. «Los primeros salieron con relativa rapidez, pero parecían saber que nadie más los secundaba, por lo que aguardaron a que otros se les sumaran», explica Ioannou. Cuando después se los separó del grupo, cada pez recobró su personalidad original. Los resultados vieron la luz en septiembre en *Science Advances*.

Los nuevos hallazgos sugieren que la dinámica del grupo aplaca la personalidad de los integrantes. Los autores afirman que es la primera vez que esa supresión se ha vinculado explícitamente con una causa subyacente: la necesidad de consenso cuando es preciso tomar una decisión arriesgada.

Los investigadores de la personalidad animal se han centrado tradicionalmente en los individuos ignorando su comportamiento en grupo, mientras que los estudiosos del comportamiento colectivo han priorizado los grupos relegando a un segundo plano las diferencias individuales, según el etólogo de la Universidad de St. Andrews Mike Webster, ajeno al estudio. «El auténtico logro de este trabajo es que aúna ambas corrientes de investigación», lo cual demuestra que la personalidad de cada animal es a la par flexible y persistente, opina.

—Jason G. Goldman



Cuando se depositaron diez espinosillos juntos bajo la cubierta, la personalidad de cada pez se desvaneció

THOMAS FUCHS (*peces*); FUNDACIÓN JUAN MARCH (*Ramon Llull*)

ASTROFÍSICA

Nudos en agujeros negros supermasivos

La detección de una región de emisión discreta en el chorro relativista de la galaxia activa M81 revela que estos procesos se desarrollan de forma muy parecida en todos los agujeros negros

JOSÉ L. GÓMEZ FERNÁNDEZ

Los agujeros negros abarcan un descomunal intervalo de masas: si los formados tras la muerte de una estrella presentan masas equiparables a la del Sol, los agujeros negros supermasivos que ocupan el centro de las grandes galaxias pueden llegar a alcanzar los miles de millones de masas solares. Pero, con independencia de su tamaño, todo agujero negro se alimenta del disco de acreción que se forma a su alrededor. El destino de buena parte de él será acabar devorado en el horizonte de sucesos. Sin embargo, una pequeña fracción es expulsada en forma de un par de chorros relativistas: intensos haces compuestos por partículas muy energéticas que salen despedidas a velocidades próximas a la de la luz.

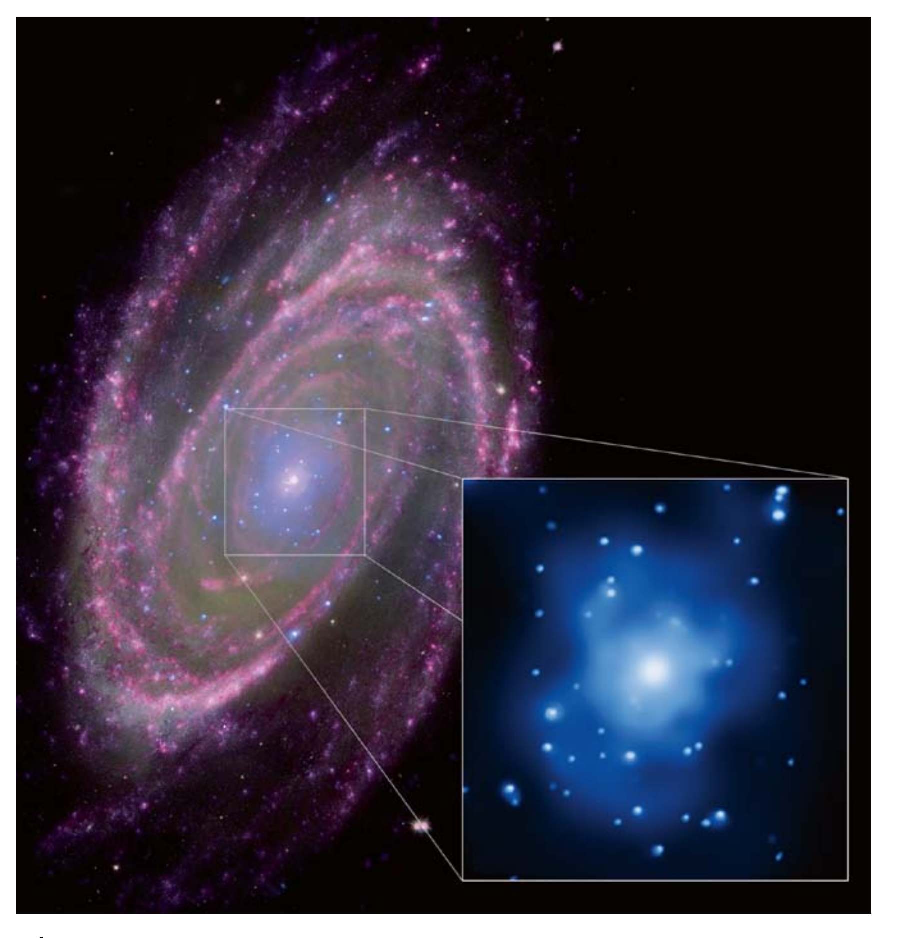
El disco de acreción y los chorros de emisión se encuentran estrechamente relacionados. Los modelos actuales indican que los agujeros negros con tasas de acreción bajas dan lugar a chorros continuos, mientras que aquellos con tasas elevadas producen chorros con «nudos» (*knots*), regiones brillantes y bien localizadas donde la emisión en la banda de radio es más intensa.

En un artículo publicado hace unos meses en *Nature Physics*, Ashley King, de Stanford, y otros investigadores han referido la primera detección de uno de esos nudos en M81, uno de los núcleos galácticos activos de baja luminosidad más cercanos a nuestra galaxia. M81 alberga un agujero negro supermasivo con una masa relativamente pequeña (70 millones de masas solares) y una tasa de acreción muy baja. Las observaciones de King y sus colaboradores implican que todos los chorros relativistas presentan la misma estructura anudada, con independencia de la masa o la tasa de acreción del agujero negro.

Estallido sin precedentes

Existe una clara conexión entre la luminosidad en rayos X de un agujero negro (relacionada con su tasa de acreción), la luminosidad en ondas de radio (asociada a la energía del chorro relativista) y la masa del objeto, desde aquellos con masas estelares hasta los supermasivos. La tasa de acreción parece ser el factor dominante que determina la energía total emitida por el sistema. En lo que se refiere al proceso de emisión de chorros, los agujeros negros de masa estelar presentes en binarias de rayos X (sistemas estelares dobles que radian en dichas frecuencias) muestran grandes diferencias dependiendo de si la tasa de acreción es alta o baja. Una tasa moderada se traduce en chorros uniformes. Para tasas elevadas, el espectro de rayos X se hace más «suave» (hay una mayor emisión relativa a energías menores), se observan estallidos en la banda de radio y, en los chorros, aparecen nudos brillantes que avanzan a velocidades relativistas.

De igual modo, también los núcleos galácticos activos (NGA) que albergan agujeros negros supermasivos con tasas de acreción elevadas generan chorros con nudos brillantes y muy relativistas. Sin embargo, estudiar los NGA de baja luminosidad resulta más complicado, ya que



NÚCLEO ACTIVO: Imagen compuesta de la galaxia M81 y detalle en rayos X de su centro galáctico (*inserto*), donde reside un agujero negro supermasivo de unos 70 millones de masas solares. Un estudio reciente ha observado por primera vez un «nudo», o componente de emisión localizada, en el chorro de partículas relativistas que emanan del astro. El fenómeno parece indicar que dicha estructura anudada es común en los chorros relativistas de todos los agujeros negros, con independencia de su masa o tasa de acreción.

NASA/CXC/WISCONSIN/D.POOLEY Y CFA/A.ZEZAS (*rayos X*); NASA/ESA/CFA/A.ZEZAS (*óptico*); NASA/JPL-CALTECH/CFA/J. HUCHRA ET AL. (*ultravioleta*); NASA/JPL-CALTECH/CFA (*infrarrojo*)

su emisión es débil. Por fortuna, algunos de estos NGA se hallan cerca de nuestra galaxia, lo que facilita su observación. Eso es lo que convierte a M81 en un candidato ideal para estudiar los NGA de baja luminosidad: aunque es uno de los más débiles que se conocen, se encuentra también entre los más cercanos.

El análisis de M81 efectuado por King y sus colaboradores reveló un estallido sin precedentes en longitudes de onda de radio. Eso motivó otras mediciones en diferentes longitudes de onda; entre ellas, las realizadas por el satélite de rayos X Swift, de la NASA, y por el conjunto VLBA (Very Long Baseline Array), una batería de radiotelescopios distribuidos en distintos lugares de Estados Unidos.

El VLBA proporcionó una secuencia temporal de imágenes del chorro en la banda de radio con una resolución angular de menos de un milisegundo de arco. Las observaciones en rayos X confirmaron la singularidad del suceso y mostraron una fulguración como nunca antes se había visto en esa fuente, a la que siguió un segundo incremento en la emisión de radio. Pero el gran premio llegó de la mano del VLBA: en el chorro de emisión de M81, las imágenes revelaron la existencia de un nudo compacto que avanzaba a velocidades moderadamente relativistas, cercanas a 0,5*c*. Su detección reviste gran interés para entender el mecanismo de producción de chorros, ya que muestra que estos nudos brillantes aparecen incluso en los núcleos galácticos activos de menor luminosidad.

Mecanismos de emisión

El agujero negro de M81 satisface la relación general mencionada más arriba entre la luminosidad en rayos X, la luminosidad de ondas de radio y la masa del objeto. Y, en su estado «de reposo», exhibe un chorro continuo y un espectro de emisión notablemente similares a los observados durante la fase de baja acreción y luminosidad de las binarias de rayos X, a pesar de que su masa es un millón de veces mayor.

Aunque ya se habían observado variaciones en la emisión de M81, incluidos cambios en la orientación del chorro (lo que parece indicar un movimiento de precesión), nunca antes se habían detectado claramente movimientos en el propio chorro. La «suavización» sin precedentes del espectro de rayos X durante el estallido parece indicar un cambio en el flujo de acreción de M81, un efecto similar al observado en las binarias de rayos X. Ello podría generar una componente discreta en la emisión lo suficientemente brillante para ser detectada por el VLBA.

Los cálculos de King y sus colaboradores apuntan a un campo magnético unos dos órdenes de magnitud mayor que el sugerido por las estimaciones previas. En él podría estar la clave para entender la formación del nudo, ya que la producción de chorros parece guardar una estrecha relación con la intensidad del campo magnético. Si la velocidad del chorro aumentó durante el estallido, allí donde el material más rápido haya adelantado al más lento se habrá generado una onda de choque que, en las imágenes del VLBA, se habría revelado como una componente discreta de la emisión.

Para entender mejor otros aspectos relativos al disco de acreción y a la emisión de M81, como la causa de la relativa lentitud y la pequeña extensión radial del nudo observado en comparación con otros núcleos galácticos activos más luminosos (o incluso otros de baja luminosidad, como M87), serán necesarias más observaciones de eventos similares en diferentes longitudes de onda. Con suerte, ello también permitirá detectar mejor los nudos de M81, aumentar la significación estadística obtenida por King y sus colaboradores al medir su movimiento propio, así como determinar con mayor precisión el campo magnético y otros parámetros clave de este núcleo galáctico activo.

—José L. Gómez Fernández
Instituto de Astrofísica de Andalucía
CSIC, Granada

Artículo original publicado en *Nature Physics*, vol. 12, págs. 729-730, 2016.
Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2016

Con la colaboración de nature

PARA SABER MÁS

A fundamental plane of black hole activity. Andrea Merloni, Sebastian Heinz y Tiziana Di Matteo en *Montly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 345, págs. 1057-1076, noviembre de 2003.

Modelling the behaviour of accretion flows in X-ray binaries. Chris Done, Marek Gierliński y Aya Kubota en *The Astronomy and Astrophysics Review*, vol. 15, págs. 1-66, diciembre de 2007.

Discrete knot ejection from the jet in a nearby low-luminosity active galactic nucleus, M81*. Ashley L. King et al. en *Nature Physics*, vol. 12, págs. 772-777, agosto de 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Agujeros negros supermasivos. José L. Gómez Fernández y Wolfgang Steffen en *IyC*, septiembre de 2009.

COMPORTAMIENTO ANIMAL

Estrategias de los progenitores en la alimentación de las crías

Las aves responden a la demanda de comida de sus polluelos mediante una conducta compleja que depende de factores ecológicos, como la predictibilidad y la calidad del alimento

DOUGLAS W. MOCK

En solo quince días, cada ave progenitora habrá traído consigo al nido unas 2000 presas. El alimento convierte a los débiles y diminutos recién nacidos en emplumados volantones hasta veinte veces más grandes. Cada vez que uno de los progenitores se posa en el nido es recibido por gestos y sonidos de demanda. Pero, ¿son esas señales realmente ruegos? Y si no lo fueran, ¿qué significado tendrían?

Durante un cuarto de siglo se ha aceptado la idea de que cada polluelo expresaba así su necesidad con honestidad, y los padres, en consecuencia, alimentaban primero a los más débiles. Ahora, Shana M.

Caro, de la Universidad de Oxford, y sus colaboradores anuncian en *Nature Communications* que podría tratarse de una visión simplista. Han descubierto que, en muchas especies, los padres marginan deliberadamente a los más débiles para que la despensa familiar sacie el hambre de los demás. De este modo, mientras que los polluelos de ciertas especies piden, otros alardean. Las señales emitidas por la descendencia a los progenitores son consideradas un paradigma de prueba sobre las ideas de la comunicación animal en general, por lo que las conclusiones de Caro y sus colaboradores podrían dar un vuelco a la situación.

El modelo de la «señal de necesidad» fue propuesto en 1991 como una variante sugestiva y matemáticamente elegante de un argumento anterior concebido para explicar los llamativos rituales de cortejo animales. Según el «principio del hándicap», el pavoneo del macho durante el cortejo se ve restringido por el coste de la señal (el riesgo de caer presa de los depredadores limita el tamaño de la cola del pavo real), por lo que solo los mejores machos pueden lucir esas galas.

Pero en la petición de alimento, esa lógica básica se invierte, puesto que las gravosas señales son emitidas principalmente por los más desvalidos. Esta teoría supone que los hermanos más fuertes desisten de emitir las señales. Tal cesión del protagonismo se puede explicar por la selección familiar (los individuos hacen gala de comportamientos que son costosos para sí mismos pero ventajosos para sus familiares), pero solo si el beneficio indicado —en este caso, más sobrinos y sobrinas— resulta inminente. Esta suposición de compensación indirecta fue ignorada cuando los empiristas de campo y de laboratorio se lanzaron al estudio de la petición de alimento. La bibliografía estalló: antes de la publicación de la hipótesis de la «señal de necesidad», la búsqueda en el servicio de información científica Web of Science de las palabras clave *offspring* («descendencia») y *begging* («petición de comida») daba como resultado un contado número de artículos; a partir de 1992 se cuentan por cientos, la mayoría favorables a ella.

Ahora bien, cuando los fenómenos se estudian con una sola hipótesis en la cabeza, las normas establecidas pueden patinar. La «necesidad» de la descendencia se definió en un principio con términos evolutivos formales (las perspectivas del individuo para procrear en el futuro), pero tales factores no se prestan a una medida precisa. Gran parte del apoyo logrado por la señal de necesidad provino de sustituir la necesidad por el hambre. El problema aquí es que, aunque se puede atiborrar a las crías, estas pueden morir igualmente de desnutrición y además un breve ayuno puede dejar famélico al polluelo más sano. En docenas de especies se ha constatado que la privación de alimento desata una petición escalonada por parte de la pollada que no refleja necesariamente el futuro potencial reproductor de cada cual. El deseo no es sinónimo de necesidad.

Irónicamente, el punto de vista contrario (la «señal de calidad», en que los progenitores suelen favorecer a los polluelos fuertes en detrimento de los débiles) se propuso un año antes, si bien inmerso entre las líneas de un largo artículo. Reflejándose en las raíces del autobombo de las señales sexuales, dicha hipótesis no requiere de la inversión del mensaje ni de la omisión voluntaria. En lugar de ello, plantea que la descendencia vigorosa está básicamente alardeando. El concepto de señal de calidad también toma parte por la teoría clásica de la historia vital, según la cual los padres maquinan las disparidades de la descendencia que tan a menudo conducen a la reducción de la nidada, por ejemplo, poniendo algunos huevos uno o dos días después que los demás. Si la disponibilidad de alimento es impredecible, las desigualdades competitivas acelerarán la corrección diferida del tamaño de la familia.

Caro y sus colaboradores han demostrado que en la naturaleza coexisten ambos tipos de sistema de señales de la descendencia, puesto que la realidad ecológica limita las expectativas parentales. En su metanálisis evalúan los principales factores ambientales y la calidad y la predictibilidad de las fuentes de alimento en cada una de las 143 especies. La variación de la calidad ambiental se valoró en función de la supervivencia de la nidada (elevada o baja) o a través de manipulaciones experimentales (adición o sustracción de pollos o de alimento); mientras que la predictibilidad del sustento se dedujo de las estrategias adoptadas por los progenitores (principalmente, si las nidadas eclosionaban de manera sincrónica).

Los investigadores han descubierto que esos factores ecológicos están vinculados íntimamente con las señales de la descendencia y con el sesgo de alimentación propio de cada nidada, lo que sustenta dos estrategias parentales bien distintas. Si la disponibilidad de alimento es relativamente predecible, la selección natural favorecerá a los padres que ajus-



LA FOCHA AMERICANA (*Fulica americana*) cambia de estrategia de alimentación de sus inquietos y vistosos polluelos a mitad de la crianza. De principio alimenta al pollo más próximo, lo cual le confiere de manera automática una ventaja competitiva a los de mayor tamaño (nacidos antes). Pero una vez que la inanición se cobra la vida de uno o dos de los más débiles, los progenitores invierten su favoritismo y alimentan preferentemente a los supervivientes más frágiles, llegando en ocasiones a agredir a los más fuertes.

ten el tamaño de la puesta en función de la despensa familiar (poniendo menos huevos cuando la comida escasea). En tal situación, la supervivencia de la nidada entera es el mejor resultado para todos, de modo que la cría rezagada se quejará más y gozará de prioridad, sin interferencia fraterna. Y viceversa, en condiciones inciertas, los padres probablemente harán bien en engendrar más huevos y, después, si es preciso, reducir la pollada, siguiendo el criterio de la talla u otros indicadores físicos (que devalúan el papel del comportamiento de las crías). Ciertas especies, como la focha americana (*Fulica americana*), cambian las reglas del juego a media partida, dejando primero que los pollos más grandes gocen de la ventaja paternal otorgada por su talla. Pero cuando la nidada se reduce, se concentran en alimentar activamente a los más pequeños que han sobrevivido.

Al validar el pluralismo en la explicación de las señales de la descendencia, Caro y sus colaboradores alientan una ampliación de las hipótesis. Podría considerarse otra más sencilla que la de la «señal de calidad» o la «señal de necesidad», que no exija que los polluelos posean ninguna información privilegiada sobre sus expectativas a largo plazo, ya sean altas (indicadoras de calidad) o bajas (indicadoras de necesidad). Y es que el sistema podría operar exclusivamente a través de información críptica cuya existencia ya se conoce: el dolor causado por el hambre. En concurso con las pistas de dominio público como es la talla corporal, las señales de la descendencia simplemente podrían dar respuesta a la mundana pero útil pregunta: «¿Quién quiere otro gusano?», y ayudar así a los progenitores a tomar decisiones sobre el reparto con rapidez. Estos ya saben cuán abundante es el alimento y pueden confiar en pistas visibles como el tamaño y el vigor para dar respuesta a la sombría pregunta de quién es el más prescindible. Esta hipótesis de la «señal de hambre» cuenta a favor con pruebas empíricas sólidas y podría resultar un excelente ejemplo de la navaja de Ockham, el principio filosófico que afirma que la hipótesis menos compleja suele ser la más verosímil.

—Douglas W. Mock
Departamento de biología
Universidad de Oklahoma

Artículo original publicado en *Nature* 532, págs. 180-181, 2016.
Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2016

Con la colaboración de nature

PARA SABER MÁS

Biological signals as handicaps. A. Grafen en *Journal of Theoretical Biology*, vol. 144, págs. 517-546, 1990.
Signalling of need by offspring to their parents. H. C. J. Godfray en *Nature*, vol. 352, págs. 328-330, 1991.
Family dynamics through time: brood reduction followed by parental compensation with aggression and favouritism. Daizaburo Shizuka y Bruce E. Lyon en *Ecology Letters*, vol. 16, págs. 315-322, 2013.
Unpredictable environments lead to the evolution of parental neglect in birds. Shana M. Caro et al. en *Nature Communications*, vol. 7, art. 10.985, doi:10.1038/ncomms10985, marzo de 2016.

Simulación cuántica de procesos en física de partículas

La primera recreación de las leyes de la electrodinámica en un computador cuántico consigue reproducir la generación espontánea de materia y antimateria a partir del vacío

ESTEBAN A. MARTÍNEZ

La física de partículas elementales entraña aún todo tipo de secretos. Para revelarlos, son bien conocidos los experimentos realizados en gigantescos aceleradores de partículas, como el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN, cerca de Ginebra. Una estrategia complementaria consiste en simular los procesos de física de partículas en un ordenador. Sin embargo, esta técnica se enfrenta a menudo a una seria dificultad: la capacidad de procesamiento necesaria para dar cuenta de algunos fenómenos fundamentales excede con mucho las posibilidades de las mejores computadoras.

En un experimento reciente cuyos resultados aparecieron publicados hace unos meses en la revista *Nature*, hemos dado un primer paso hacia lo que promete convertirse en un fecundo camino de exploración adicional: la simulación de procesos de física de partículas en un ordenador cuántico. En un futuro, esta técnica permitirá estudiar la evolución en tiempo real de sistemas de partículas, investigarlos con un nivel de detalle imposible de alcanzar en un acelerador y abordar problemas que hoy resultan intratables con los ordenadores tradicionales.

Nuestro trabajo surgió de una estrecha colaboración entre el grupo de Peter Zoller, del Instituto de Óptica Cuántica e Información Cuántica (IQOQI) en Innsbruck, donde se concibió la simulación, y el de Rainer Blatt, del Instituto de Física Experimental de la Universidad de Innsbruck, el cual cuenta con una larga trayectoria en el campo de la simulación cuántica y que fue donde se llevó a cabo el experimento. Junto con Christine A. Muschik, del IQOQI, ideamos una técnica para simular una versión simplificada de la electrodinámica cuántica mediante un conjunto de cuatro iones controlados por láseres. Nuestros resultados reproducen las predicciones teóricas y abren la puerta a diseñar simulaciones cuánticas más complejas en el futuro.

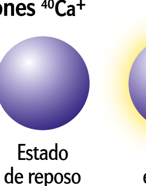
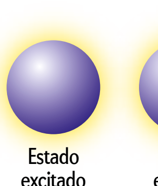
Física de partículas en un ordenador

La descripción más profunda de la naturaleza a nivel microscópico nos la proporciona el modelo estándar de las partículas elementales. Esta teoría incluye tres de las cuatro interacciones fundamentales conocidas en la naturaleza: la electrodinámica cuántica, que dicta el comportamiento de las partículas con carga eléctrica; la interacción débil, responsable de las desintegraciones nucleares; y la cromodinámica cuántica, que describe la dinámica de los quarks. Las ecuaciones fundamentales que rigen estas interacciones se conocen con exactitud desde hace décadas. Sin embargo, muy a menudo resultan imposibles de resolver por medios analíticos, lo que obliga a los físicos a recurrir a simulaciones numéricas.

Para ilustrar en qué consisten tales simulaciones, tomemos la teoría de partículas más sencilla de todas: la electrodinámica cuántica. El sistema físico cuyo comportamiento deseamos reproducir constará de electrones y positrones (las antipartículas de los electrones) y, por sencillez, consideraremos el caso en el que el espacio solo tiene una dimensión. Esta versión simplificada de la teoría fue estudiada en los años cincuenta del siglo pasado por Julian Schwinger, uno de los padres de la teoría cuántica de campos, motivo por el que se conoce como «modelo de Schwinger».

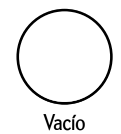
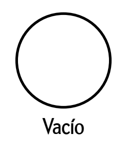
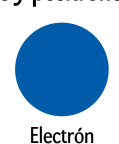
A la hora de simular procesos de física de partículas en un ordenador, un procedimiento habitual consiste en dividir el

Sistema físico: iones $^{40}Ca^+$

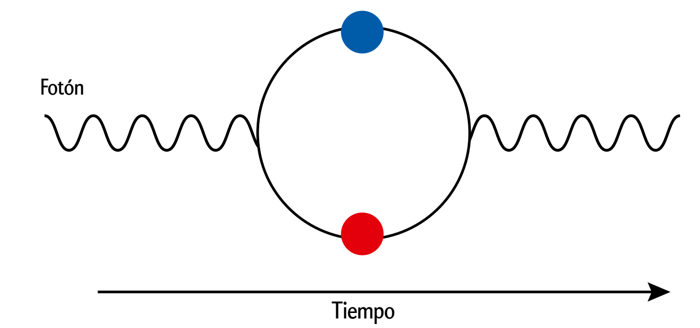






Sistema simulado: electrones y positrones


Proceso reproducido: creación y aniquilación de pares



FLUCTUACIONES CUÁNTICAS: Un experimento reciente ha logrado simular las leyes de la electrodinámica cuántica en un sistema de física atómica formado por cuatro iones de calcio ($^{40}Ca^+$, *arriba a la izquierda*). Cada átomo (*violeta*) puede adoptar dos estados básicos: uno «de reposo» (*sin brillo*), el cual representa la ausencia de materia en un punto del espacio, y otro excitado (*brillante*), equivalente a la presencia de una partícula. Los sitios impares están asociados a los electrones (*azul*); los pares, a los positrones (*rojo*). El diagrama de la izquierda muestra una posible configuración de iones en un instante dado. Al regular las interacciones entre átomos mediante láseres (*no mostrados*), el experimento ha conseguido reproducir el proceso de creación espontánea de pares de partículas y antipartículas a partir de las fluctuaciones del vacío cuántico (*derecha*).

espacio y el tiempo en casillas diminutas, lo que da lugar a un retículo espaciotemporal (*lattice*). Cada compartimento (cada «punto» del espaciotiempo) puede encontrarse en uno de dos estados: vacío u ocupado por una partícula. Esos estados pueden codificarse por medio de un bit; si una casilla está vacía, su bit asociado tomará el valor 0; si está ocupada, el valor 1. Por último, la diferencia entre electrones y positrones vendrá dada por la posición de la partícula: los primeros podrán ocupar los nodos impares de la red, mientras que los segundos se situarán en los pares. Una simulación consiste en implementar las interacciones entre partículas. En términos computacionales, ello corresponde a ejecutar operaciones entre los bits.

La dificultad principal reside en que la física de partículas obedece las leyes de la mecánica cuántica, según las cuales un sistema físico puede encontrarse en una superposición simultánea de varios estados. Así pues, a la hora de describir una colisión entre dos partículas, por ejemplo, no bastará con asociarles únicamente el camino predicho por las leyes clásicas, sino que tendremos que asignarles todas las trayectorias posibles a la vez. Eso implica que la simulación deberá tener en cuenta todos los estados en los que pueda hallarse el sistema en cada momento. En un ordenador clásico, ello requiere cantidades exponenciales de memoria.

Física de partículas en el átomo

La solución a este problema es conceptualmente simple aunque técnicamente muy ambiciosa, y se basa en una idea propuesta por Richard Feynman hace más de 30 años: en lugar de emplear un ordenador clásico, usemos uno cuántico. Estos últimos se diferencian de los primeros en la manera en que almacenan la información. En vez de hacerlo en bits clásicos, los cuales solo pueden tomar los valores 0 o 1, la información se codifica en bits cuánticos, o qubits, los cuales pueden hallarse en una superposición simultánea de los estados asociados al 0 y al 1. El mayor problema al que se enfrenta este enfoque reside en la dificultad que entraña fabricar qubits estables y que puedan manipularse con fiabilidad. Hoy por hoy, la construcción de un ordenador cuántico funcional constituye una verdadera carrera tecnológica en la que participan laboratorios de todo el mundo.

El computador cuántico de nuestro experimento consta de cuatro iones de calcio ($^{40}Ca^{+}$) dispuestos en fila y atrapados por campos eléctricos que oscilan con rapidez. Cada átomo puede encontrarse en uno de dos estados básicos: uno «de reposo», o fundamental, y otro excitado, de mayor energía. Estos dos estados, a los que podemos llamar «0» y «1», dan lugar a un qubit, ya que el ion también puede hallarse en una superposición de ambos. Nuestra cadena de átomos se convierte así en una memoria cuántica. Para manipular cada qubit, empleamos pulsos láser que nos permiten cambiar entre el estado fundamental, el excitado o una superposición de ambos.

Para iniciar la simulación, preparamos la cadena de iones en el estado que codifica el vacío; es decir, la ausencia de electrones y positrones. Después, aplicamos una secuencia de pulsos láser que implementan operaciones sobre los qubits e imitan las interacciones de la teoría. Tras dejar que el sistema evolucione durante cierto tiempo, observamos el estado de la cadena de iones. Ello equivale a estudiar el sistema de partículas equivalente y trazar su evolución.

Nuestro simulador nos ha permitido reproducir uno de los procesos fundamentales en teoría cuántica de campos: la creación espontánea de pares partícula-antipartícula a partir de las fluctuaciones del vacío, seguida de la aniquilación mutua de los componentes de cada par. La simulación ofrece además una gran flexibilidad, ya que las magnitudes que corresponden a las constantes físicas de la naturaleza (como la masa de las partículas o el valor de su carga eléctrica) pueden ajustarse a voluntad variando la duración de los pulsos láser.

Hacia la computación cuántica del futuro

El objetivo de estos experimentos consiste en levantar un puente entre dos disciplinas, a fin de poder responder a preguntas de física de partículas con técnicas experimentales de física atómica. El simulador cuántico que hemos diseñado representa un primer paso en esa dirección. Si bien nuestro procesador de cuatro qubits es aún demasiado pequeño para superar la capacidad de los ordenadores clásicos, el límite de las computadoras actuales debería de poder alcanzarse con unos 40 qubits. La implementación experimental de estos sistemas podría lograrse durante los próximos cinco años. El estado actual de la computación cuántica puede equipararse al de la computación clásica en la primera mitad del siglo xx. Hoy existen numerosas propuestas tecnológicas para fabricar un computador cuántico, cada una de las cuales presenta sus propias ventajas a la hora de incrementar el número de qubits y mejorar la calidad de las operaciones.

Para llevar a cabo experimentos que realmente revolucionen nuestro entendimiento de la física de partículas, probablemente necesitaremos ordenadores cuánticos capaces de manipular con fiabilidad cientos o miles de qubits. Con este fin, un nuevo enfoque se basa en emplear matrices bidimensionales de iones en trampas microfabricadas con técnicas similares a las que se utilizan en la construcción de circuitos integrados. Otra alternativa consiste en construir redes de trampas de iones conectadas a través de fibra óptica, lo que permitiría distribuir los cálculos entre diversos procesadores cuánticos [*véase* «Computación cuántica modular», por Christopher R. Monroe, Robert J. Schoelkopf y Mikhail D. Lukin; Investigación y Ciencia, julio de 2016].

En el futuro, la simulación cuántica permitirá entender algunos fenómenos de física de partículas que hoy escapan a las mejores técnicas analíticas y computacionales. Entre ellos, varios aspectos exóticos de la cromodinámica cuántica, como las condiciones que imperan en el interior de las estrellas de neutrones, o el plasma de quarks y gluones, el estado en el que se encontraba la materia pocos instantes después de la gran explosión que dio origen a nuestro universo.

—Esteban A. Martínez
Instituto de Física Experimental
Universidad de Innsbruck

PARA SABER MÁS

Simulating physics with computers. R. P. Feynman en *International Journal of Theoretical Physics*, vol. 21, n.º 6, págs. 467-488, junio de 1982.

Quantum simulations of lattice gauge theories using ultracold atoms in optical lattices. Erez Zohar, J. Ignacio Cirac y Benni Reznik en *Reports on Progress in Physics*, vol. 79, art. n.º 014401, diciembre de 2015.

Real-time dynamics of lattice gauge theories with a few-qubit quantum computer. Esteban A. Martinez et al. en *Nature*, vol. 534, págs. 516-519, junio de 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Campos electromagnéticos artificiales. Karina Jiménez García en *IyC*, febrero de 2012.

Objetivos y oportunidades de la simulación cuántica. J. Ignacio Cirac y Peter Zoller en *IyC*, noviembre de 2012.

Mundos cuánticos simulados. Oliver Morsch e Immanuel Bloch en *IyC*, mayo de 2015.

BIODIVERSIDAD

El círculo de la vida

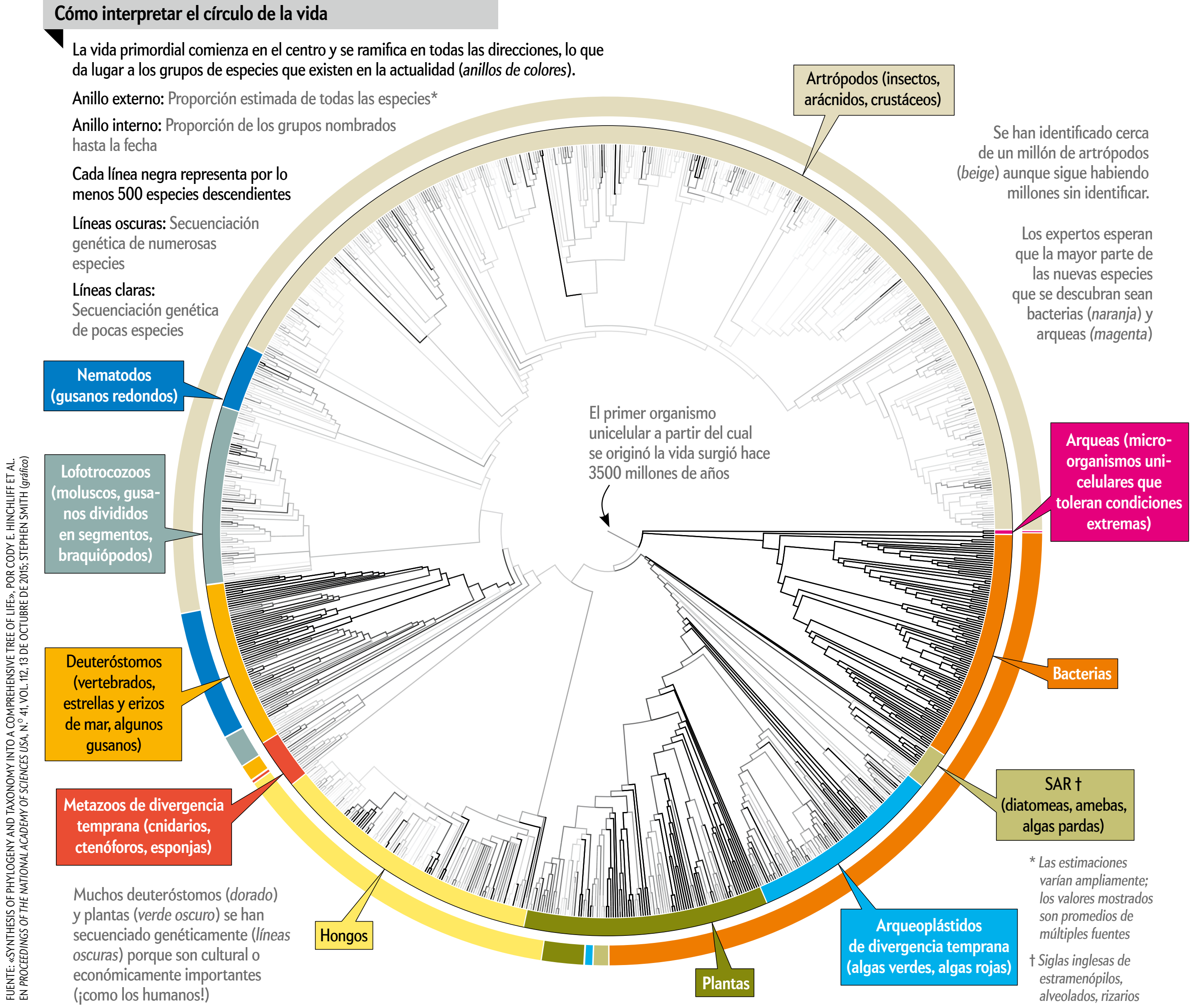
Se han reconstruido por fin los linajes de todas las especies conocidas de la Tierra

MARK FISCHETTI

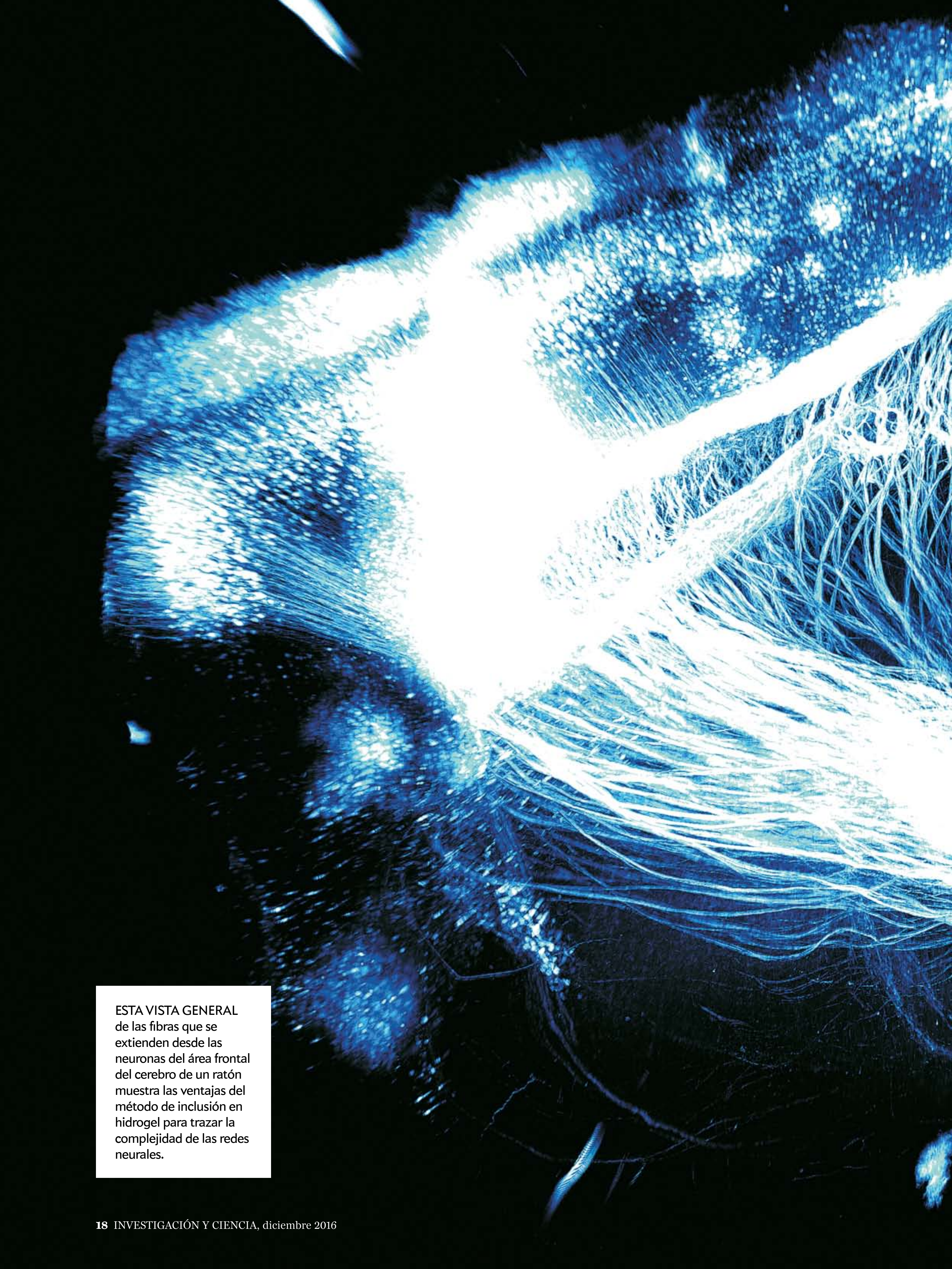
Desde tiempos de Charles Darwin, los biólogos han descrito cómo los nuevos organismos evolucionaron a partir de otros más antiguos al ir añadiendo ramas a los numerosos árboles que representan las partes del reino animal, vegetal y microbiano. Investigadores de una docena de instituciones han logrado, después de tres años, su propósito de combinar decenas de miles de árboles en un diagrama, representado como un círculo para que resulte más legible. Las líneas dentro de él simbolizan los 2,3 millones de especies que han sido identificadas. Los biólogos conocen la secuencia genética de solo un 5 por ciento de ellas. Sin embargo, a medida que se describen más secuencias pueden variar las relaciones dentro de cada grupo y entre distintos grupos de especies. Los expertos estiman que en el planeta podrían habitar hasta 8,7 millones de especies (cada año se descubren unas 15.000). «Esperamos que el círculo se amplíe», comenta Karen Cranston, bióloga evolutiva computacional de la Universidad Duke.

Cualquiera puede proponer actualizaciones de la base de datos (OpenTreeOfLife.org). Cuantos más detalles se conozcan, mejor se comprenderá la evolución y se ayudará al desarrollo de fármacos, a la creación de cultivos más productivos y al control de las enfermedades infecciosas.

—*Mark Fischetti*



FUENTE: «SYNTHESIS OF PHYLOGENY AND TAXONOMY INTO A COMPREHENSIVE TREE OF LIFE», POR CODY E. HINCHLIFF ET AL. EN *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES USA*, N.º 41, VOL. 112, 13 DE OCTUBRE DE 2015; STEPHEN SMITH (*gráfico*)



ESTA VISTA GENERAL de las fibras que se extienden desde las neuronas del área frontal del cerebro de un ratón muestra las ventajas del método de inclusión en hidrogel para trazar la complejidad de las redes neurales.



UNA MIRADA AL INTERIOR DEL CEREBRO

UN NUEVO MÉTODO EXPERIMENTAL A CABALLO ENTRE LA QUÍMICA Y LA BIOLOGÍA PERMITE INDAGAR EN LO MÁS PROFUNDO DEL CENTRO DE MANDO DEL CUERPO

Karl Deisseroth



Karl Deisseroth es profesor de bioingeniería y psiquiatría en la Universidad Stanford. En 2015 fue galardonado con el premio Lurie en Ciencias Biomédicas por el desarrollo del método de obtención de tejido cerebral transparente CLARITY y de la optogenética.



L SISTEMA NERVIOSO HUMANO es una suerte de tapiz, tejido con un entramado de hilos. Esos hilos o axones, delgadas fibras que las células tienden entre sí, conducen información en forma de señales eléctricas de unas neuronas a otras. Los axones que se proyectan a larga distancia son la urdimbre de la tela, que se entrelaza con la versión cerebral de la trama, otros axones que zigzaguean hacia delante y hacia atrás salvando distancias cortas, encargados de transmitir las señales destinadas al cómputo de cálculos.

Si se quiere entender la mecánica interna del cerebro, es preciso desentrañar la organización de ese tapiz neuronal a la escala de cada uno de sus elementos, por ejemplo de un único axón. Pero, para entender la función del axón, también es conveniente mantener una perspectiva global que abarque el cerebro entero, sin perder de vista el filiforme axón y su contexto. Obtener esa perspectiva exige un tipo de herramienta especial, pues el cerebro no es plano ni translúcido como una tela de gasa. Las moléculas grasas (lípidos), especialmente las integrantes de las membranas celulares, dispersan la luz de nuestros aparatos de imagen y nublan nuestra visión más allá de las capas superficiales de células. Las capas más profundas del cerebro quedan ocultas a nuestros ojos.

Una novedosa técnica acaba de abrir apasionantes vistas para los neurocientíficos y ha creado un nuevo modo de observar las interioridades del cerebro intacto; permite determinar tanto las trayectorias como las propiedades moleculares de cada fibra conectora que se entreteje a lo largo de los intrincados engranajes del cerebro. El método se basa en la química de los hidrogeles, polímeros que forman una red tridimensional de compartimentos conectados, capaces de retener agua sin disolverse. Con ellos se crea un endoesqueleto polimérico tridimensional dentro del tejido biológico. En un proceso de tres etapas, primero se crea un gel transparente en el seno del cerebro de un animal de laboratorio o de un cadáver humano. El gel queda ligado a los componentes moleculares que albergan información esencial, como las proteínas y los ácidos nucleicos (ADN y ARN), que restan así protegidos. A ello le sigue la eliminación de los componentes tisulares que son superfluos o que dispersan la luz, como los lípidos. Por último, con la introducción de multitud de marcadores fluorescentes y de otro tipo —además de transparente, el gel está diseñado para permitir la inyección rápida de esas sondas— es posible iluminar y visualizar las fibras y las moléculas de interés con una resolución muy alta en todo el cerebro íntegro.

Esta recién adquirida capacidad para visualizar las profundidades del centro de mando del cuerpo está ayudándonos a comprender muchas cosas. El método permite vincular la morfología física con la función conductual de las vías neurales implicadas en la acción y la cognición, desde el movimiento hasta la memoria. También ha ayudado a esclarecer procesos involucrados en el parkinsonismo, el alzhéimer, la esclerosis múltiple, el autismo, la toxicomanía o los trastornos de ansiedad y las fobias. Incluso se ha creado una empresa que explora la aplicación del híbrido de tejido e hidrogel en el diagnóstico del

EN SÍNTESIS

Desentrañar los mecanismos internos del cerebro solo será posible mediante el examen minucioso de las células a escala individual aunado con el estudio a gran escala del órgano entero.

Las técnicas ópticas ordinarias no pueden penetrar en la opacidad del tejido nervioso porque las interfases entre el agua y las moléculas grasas de las membranas celulares dispersan la luz.

Las novedosas técnicas que suprimen los lípidos y los reemplazan con una sustancia que mantiene intactos los demás componentes cerebrales abren una nueva ventana de observación que traspasa las barreras actuales.

Los métodos de inclusión en hidrogel, como se conoce a tales técnicas, permiten examinar las redes neurales específicas que rigen diversos comportamientos.

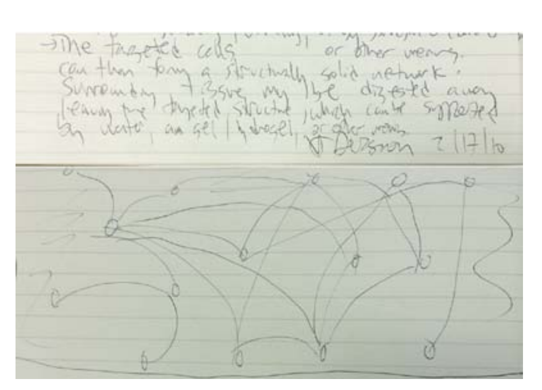
PÁGINAS PRECEDENTES: CORTESÍA DEL LABORATORIO DE DEISSEROTH, UNIVERSIDAD STANFORD Y LI YE

cáncer. El método ha superado los límites del cerebro y se está aplicando en otros órganos y tejidos.

ACLARANDO LAS COSAS

Volver transparente el cerebro es tan difícil que la propia evolución, en el decurso de millones de años, no lo ha logrado en el linaje de los animales de gran tamaño. Pero ser invisible supone una gran ventaja, de modo que algunas especies han evolucionado en esa dirección hasta gozar de cierta invisibilidad en su ambiente para, por ejemplo, burlar a los depredadores. Algunos peces prescinden de la rojiza hemoglobina y viven esencialmente sin la sangre propia de los vertebrados, todo por ganar una pizca de invisibilidad. Pero ni siquiera ellos son capaces de hacer transparente su sistema nervioso central, pese a la intensa presión evolutiva. El sistema nervioso de los peces y los camarones transparentes sigue siendo parcialmente opaco; tal vez la evolución pueda renunciar a los rojos hematíes, pero nada, según parece, deja que la luz se propague expedita a través de un cerebro voluminoso.

Esa opacidad obedece a la dispersión de la luz en el tejido nervioso. Los fotones rebotan en las interfases entre la grasa y el agua (debido a la dispar velocidad de propagación de la luz en ambos medios) y en direcciones aparentemente aleatorias (por la complejidad estructural de las redes neurales). No es fácil idear ni elaborar un modo de anular ese efecto. Las barreras lipídicas que conforman la membrana celular y las estructuras internas de la neurona desempeñan también una función esencial como aislantes para los iones que generan los impulsos eléctricos en la maraña de axones. Irónicamente, el órgano que más intacto necesitamos mantener para su estudio es también el más difícil de tornar transparente.



BOCETO INICIAL en el cuaderno del autor a principios de 2010, en el que se traza la idea de construir un hidrogel en un tejido y eliminar otros componentes.

En 2009 decidí asumir el reto irresoluto de volver transparente el cerebro intacto y maduro de los mamíferos y, al mismo tiempo, marcar con detalle varias de sus moléculas. Por aquel entonces, cientos de laboratorios de todo el mundo habían comenzado a usar una técnica para activar y desactivar componentes específicos del cerebro por medio de la luz, que mis colaboradores y yo habíamos desarrollado entre 2004 y 2009. Llamada optogenética, dicha técnica combina luz de láser, fibra óptica y genes de proteínas fotosensibles, las opsinas microbianas extraídas de algas y bacterias, para controlar con precisión la actividad de neuronas concretas en el cerebro vivo e íntegro mientras el animal corre, salta, nada, socializa y ejecuta comportamientos complejos. En el verano de 2009, un lustro después de la primera demostración experimental con las opsinas microbianas en neuronas, acaecida en julio de 2004, se habían resuelto en gran medida los principales retos de la técnica y ya era fácilmente aplicable. Pero si bien desde entonces la optogenética ha permitido descubrir miles de nuevas explicaciones sobre los mecanismos neurales del comportamiento, no puede brindarnos otro tipo de información esencial: una imagen de alta resolución del entramado de conexiones que por todo el cerebro une las neuronas controladas por la luz.

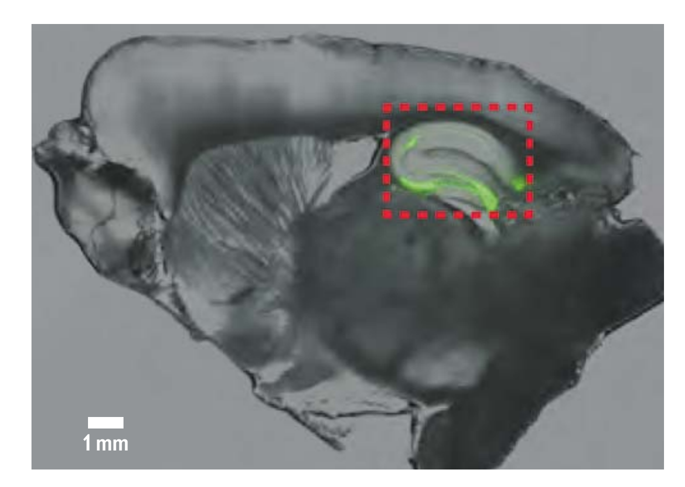
Vincular esa visión de conjunto a cada uno de los componentes básicos que integran el sistema es una aspiración común en muchos campos de la ciencia, aunque a menudo se sacrifique —apropiadamente—. Separar las partes de un sistema complejo para analizarlas una a una ha sido siempre un método fundamental en ciencia, pues al sacar cada componente de su contexto es posible averiguar qué propiedades le son intrínsecas y no dependen de otros elementos. Con todo, en estructuras sumamente interconectadas como el cerebro, desmontar el sistema, deshilar el tapiz, no es siempre la mejor estrategia para entender y apreciar la visión de conjunto.

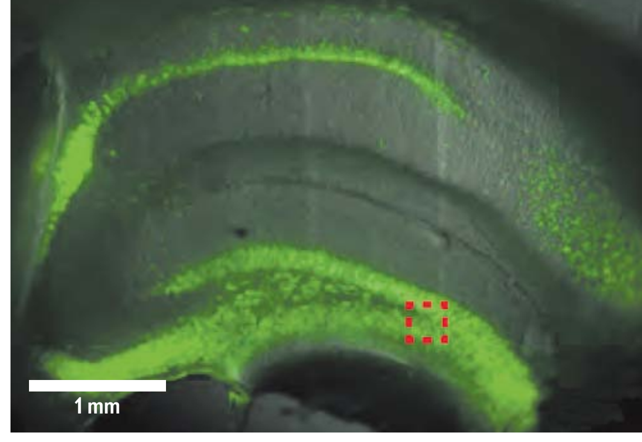
En lo que concierne a la visualización y el marcaje, la naturaleza opaca del cerebro adulto de los mamíferos siempre ha dictado la necesidad de desmontarlo, normalmente en cortes, y transformar así el volumen tridimensional del órgano en cientos o miles de cortes virtualmente planos. Tal proceso exige cantidades prohibitivas de tiempo y dinero, sobre todo cuando se requieren muchos cerebros para obtener resultados estadísticamente significativos (como suele suceder en el estudio del comportamiento de los mamíferos). Además, una parte esencial de la información se pierde sin remedio. Como la optogenética ya permitía estudiar la función en el cerebro intacto, en 2009 comencé a meditar qué otra cosa se podría hacer para abordar el problema.

El germen de la idea lo había plantado quince años antes. A mediados de los noventa comencé a interesarme por la idea de crear en el laboratorio circuitos parecidos a los cerebrales partiendo de células individuales. Una opción podría consistir en sembrar células madre neurales en matrices de polímero y forzarlas a convertirse en neuronas por medio de la bioquímica. En mi empeño, ahondé en la bibliografía científica e ingenieril de los hidrogeles que, por su biocompatibilidad y transparencia, parecían ser particularmente adecuados como matrices de soporte.

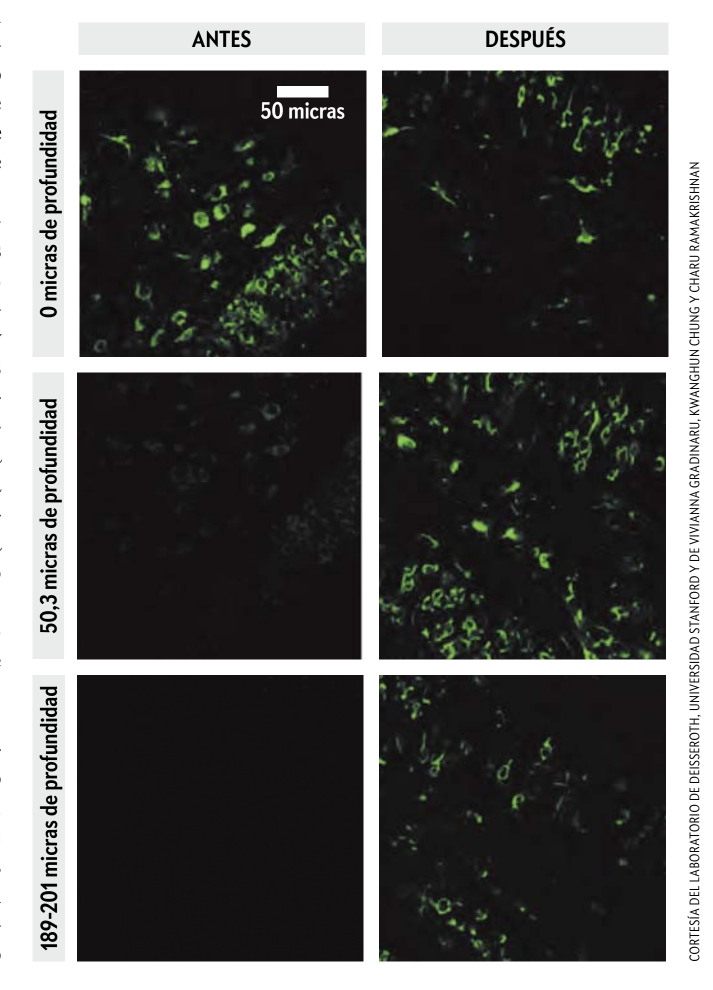
En los años posteriores llevé a cabo experimentos preliminares, con siembras de células madre neurales en matrices poliméricas y su transformación en neuronas, pero no llegué al punto de elaborar, con células sueltas, estructuras parecidas a un cerebro, una tarea endiabladamente complicada. Sin embargo, durante todo ese tiempo nunca abandoné mi cada vez más ajada carpeta etiquetada como «hidrogeles», repleta de artículos grapados, y la llevé conmigo cada vez que me mudaba de laboratorio en mi carrera (doctor en neurociencia en 1998, residencia en psiquiatría y posdoctorado, y puesta en marcha de mi laboratorio de ingeniería en la Universidad Stanford en 2004). Pero con el esquema bien trazado en mi cabeza, la idea arraigó, cobró vigor y, con la aportación capital de otros miembros del laboratorio de talento extraordinario, acabó por convertirse en una estrategia factible para lograr un cerebro transparente y accesible.

Un diagrama esbozado por mí en febrero de 2010, sentado ante el escritorio tras una larga reflexión sobre el problema de la visualización del cerebro entero, ilustra la idea básica. Era el concepto original dado la vuelta: en lugar de partir del hidrogel y construir el cerebro en él, empezaríamos por este y construiría-





EL ENCÉFALO DE RATÓN embebido en gel transparente (una vez retirado el tejido que dispersa la luz) brilla con luz verde cuando una proteína fluorescente unida a la queratina ilumina las neuronas marcadas. Si se amplía una parte del encéfalo (*arriba a la izquierda*), aparece la circunvolución del hipocampo (*arriba a la derecha*), seguida de primeros planos de neuronas individuales (*recuadros inferiores*). Antes de contar con el proceso CLARITY, las neuronas ubicadas a más de 50 micras de la superficie eran invisibles debido a la dispersión de la luz (*recuadros inferiores a la izquierda*). Completado el proceso, como muestra este experimento llevado a cabo en 2010 por Viviana Gradinaru, Kwanghun Chung y Charu Ramakrishnan, es posible detectar neuronas situadas a profundidades de hasta 200 micras (*recuadros a la derecha*).



CORTESÍA DEL LABORATORIO DE DEISSEROTH, UNIVERSIDAD STANFORD Y DE VIVIANNA GRADINARU, KWANGHUN CHUNG Y CHARU RAMAKRISHNAN

mos el hidrogel en él. Este serviría como soporte para preservar la disposición espacial de los componentes cerebrales de interés, como las proteínas y los ácidos nucleicos, pero permitiría retirar todo lo demás que impidiera ver el interior. Además evitaría que el cerebro se deshiciera en una masa informe cuando los componentes estructurales superfluos se disolviesen o quedasen digeridos.

Los primeros experimentos, que conectaban campos separados y comenzaban a perfilar lo que no había sido más que una mera posibilidad, se aprecian mejor con la perspectiva que el paso de los años concede. Dos creativos y osados investigadores que estaban entonces en el laboratorio (Viviana Gradinaru y el gerente del laboratorio Charu Ramakrishnan) fueron los primeros dispuestos a asumir este proyecto abrumador. El riesgo de fracaso era tal que decidí no implicar a todo el grupo; pensé que ellos dos, veteranos con palmarés en otros proyectos de investigación, podrían soportar el riesgo y la decepción si no se llegaba a buen puerto.

Desde inicios de 2010, Gradinaru y Ramakrishnan intentaron que las neuronas resistieran el daño causado por los agentes que alterarían la estructura fina de los tejidos y las membranas celulares. En teoría, rellenar las células del cerebro con un polímero resistente de algún tipo podría valer, y las neuronas permanecerían intactas si se mantenían sujetas por el hidrogel. Probaron numerosas estrategias, como la introducción de genes de ciertas enzimas con los que las neuronas comenzaron a sintetizar biopolímeros resistentes, como la quitina y la celulosa. El mejor método, una idea imaginativa de Gradinaru, resultó ser un proceso para que las células produjeran otro biopolímero, la queratina. La acumulación de la queratina en las neuronas cultivadas evitaba su rotura y pensó que los lípidos del tejido cerebral intacto (con las neuronas estabilizadas con la queratina y el hidrogel actuando como soporte externo) se podrían eliminar con un detergente, que dejaría al descubierto las estructuras cerebrales de interés, suspendidas en el hidrogel transparente.

En ese momento, la construcción del hidrogel en el cerebro intacto era tan solo una idea. Decidí acelerar el proyecto mediante los sólidos conocimientos de un ingeniero químico. Nadie fuera del laboratorio conocía el proyecto, así que busqué en mi buzón de entrada correos electrónicos de investigadores posdoctorales que pudieran tener la formación adecuada en hidrogeles. Y apareció el nombre de Kwanghum Chung, ingeniero químico de gran talento, por aquel entonces en el Instituto

Tecnológico de Georgia. Chung había oído hablar de nuestro trabajo en optogenética y células madre y quería incorporarse al laboratorio.

A inicios de marzo de 2010, pocas semanas después de dibujar el boceto original mostrado aquí, concerté una primera y breve conversación telefónica mientras asistía a un encuentro en Utah. Entonces hice algo insólito en mí que no he vuelto a hacer; tal era mi seguridad en ello. Lo invité a unirse al equipo sin una visita siquiera a las instalaciones o una entrevista cara a cara. Situación extraña en un laboratorio de neurociencia: un ingeniero químico apareciendo de la nada.

A su llegada, Chung se enfrascó de inmediato en nuestro proyecto secreto. A finales de 2010, el equipo de tres miembros del laboratorio había creado bloques transparentes de cerebro de ratón cuyas neuronas, preservadas con el relleno de queratina e incrustadas en hidrogel, podían verse claramente incluso a profundidades de cientos de micras, mucho más de lo que hubiera sido posible con los métodos ordinarios. El primer hidrogel de Chung que funcionó plenamente estaba compuesto de acrilamida, usada de ordinario en el laboratorio para separar ácidos nucleicos o proteínas. Los híbridos de tejido y gel resultantes de este trabajo creativo se diseñaron para posibilitar la introducción directa de marcadores fluorescentes y de otro tipo con el fin de visualizar las proteínas y las estructuras preservadas, como los axones, en varias rondas de marcaje consecutivas. Finalmente, reparamos en que la queratina no era necesaria para que las estructuras celulares se mantuvieran en su sitio; bastaba con el hidrogel. A pesar de los trabajos pioneros de Hans-Ulrich Dodt y de Atsushi Miyawaki con otras técnicas (los métodos 3DISCO y Sca*l*e), nunca se había logrado semejante transparencia y accesibilidad en el cerebro adulto de un mamífero.

Las técnicas de tejido-hidrogel permiten acceder a las profundidades del cerebro, lo que facilita la comprensión de la biología y los trastornos de este órgano

A esta variante a base de acrilamida de la idea del hidrogel construido sobre tejido (ahora se han publicado muchas otras) se la llamó CLARITY (acrónimo de *c*lear *l*ipid-exchanged *a*crylamide-hybridized *r*igid *i*maging/immunostaining/in situ hybridization compatible *t*issue-h*y*drogel; «tejido-hidrogel compatible con la hibridación in situ, la inmunotinción y la captación de imágenes rígidas con eliminación de lípidos por sustitución con acrilamida hibridada»). Desde que publicamos nuestra técnica en 2013, incluso esta versión sencilla de la técnica de tejido-hidrogel ha sido adoptada para diversas aplicaciones en investigación básica y clínica (estudio de cerebros de cadáveres de personas con autismo o alzhéimer, entre otros), así como en el estudio de la médula espinal y del encéfalo del ratón (por ejemplo, en el descubrimiento de rutas desconocidas de control del miedo y la ansiedad). De laboratorios de todo el mundo están surgiendo a la luz artículos que describen el uso de este método general en el estudio de la estructura básica del sistema nervioso, a menudo combinado con la optogénetica, así como nuevas ideas sobre la adaptación y la maladaptación de los circuitos cerebrales.

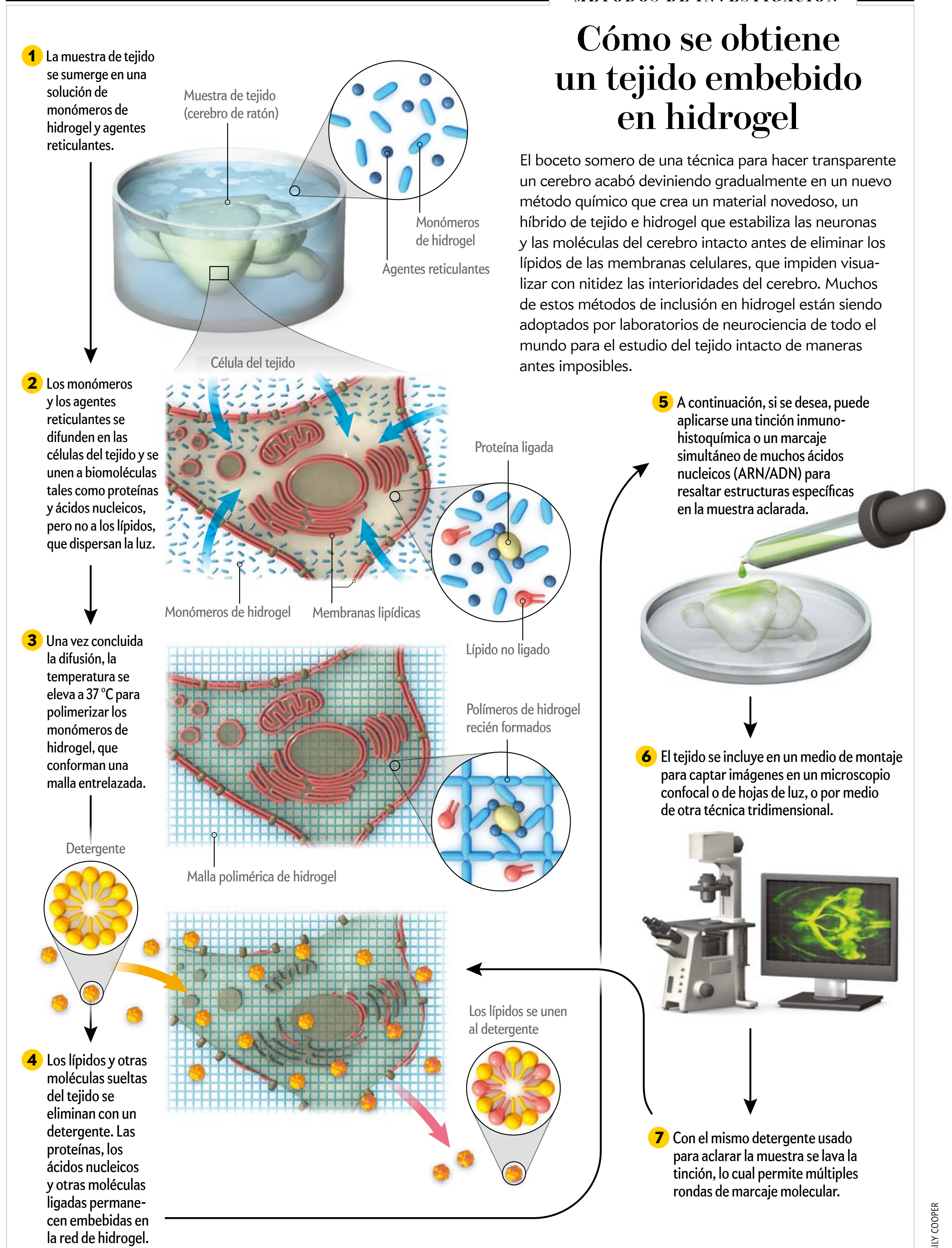
De la misma manera que el primer lustro de la optogenética con las opsinas microbianas trajo consigo muchísimas innovaciones que ampliaron la aplicabilidad del método, la técnica constructiva de los tejidos-hidrogeles en el seno del cerebro ha dado pasos de gigante en sus primeros cinco años de vida. La primera versión de la técnica del hidrogel describía un paso con un campo eléctrico impuesto para acelerar la extracción de las partículas iónicas de detergente unidas a los lípidos. El dominio de este paso exigía cierta práctica y el tejido podía quedar dañado si el voltaje era excesivo. Para solventar el problema, desde inicios de 2014 Raju Tomer, Brian Hsueh y Li Ye, miembros del laboratorio por entonces, publicaron dos artículos (uno junto con colegas de Suecia) en que definían una versión simplificada de este paso. Comenzó a ser conocido como CLARITY pasivo porque prescinde de los campos eléctricos. Tomer y el equipo también describieron una técnica especializada de neuroimagen con hidrogeles que se sirve como versión rápida y de alta resolución de la microscopía mediante hojas de luz, adaptada a las singulares dificultades que supone registrar rápidamente grandes volúmenes de hidrogeles mediante planos de barrido (hojas de luz) en lugar de puntos lumínicos.

En ese momento, Gradinaru y Chung estaban dirigiendo sus propios laboratorios en los institutos de tecnología de California y de Massachusetts, con importantes innovaciones. Las suyas son solo una parte de las contribuciones realizadas por muchos otros investigadores en un breve lapso de tiempo. Gradinaru ha concebido y publicado una estrategia de CLARITY adaptada a organismos completos llamada PARS. Ambos han publicado nuevas fórmulas de hidrogel bautizadas como PACT y SWITCH que se suman a la gran variedad de compuestos de tejido-hidrogel descritos en todo el mundo. Con todo, en lo referente a la exploración experimental de los hidrogeles, solo hemos arañado la superficie. En 2013 difundimos (Chung y el autor) una larga lista de posibles composiciones de hidrogel, desde acrilatos a alginatos y más allá. Mi laboratorio y nuestros colaboradores investigan ahora la manera de hacer que los polímeros se vuelvan activos mediante su modificación con elementos que generen conductividad eléctrica o una reactividad química controlables, lo que abre nuevas posibilidades.

Otro reto es el relacionado con una propiedad de los combinados de tejido-hidrogel, que, como describimos en sendos artículos en 2013 y 2014, provoca que los tejidos embebidos en el hidrogel se hinchen. Esta propiedad no supone siempre un

Cómo se obtiene un tejido embebido en hidrogel

El boceto somero de una técnica para hacer transparente un cerebro acabó deviniendo gradualmente en un nuevo método químico que crea un material novedoso, un híbrido de tejido e hidrogel que estabiliza las neuronas y las moléculas del cerebro intacto antes de eliminar los lípidos de las membranas celulares, que impiden visualizar con nitidez las interioridades del cerebro. Muchos de estos métodos de inclusión en hidrogel están siendo adoptados por laboratorios de neurociencia de todo el mundo para el estudio del tejido intacto de maneras antes imposibles.



problema y puede ser compatible con el registro de imágenes de alta definición, ya sea en el CLARITY original o en posteriores formulaciones similares de hidrogel en cerebro desarrolladas por otros grupos que promueven el efecto básico de expansión (cada una con su acrónimo: PACT/ePACT en 2014, seguida en 2015 y 2016 por ExM/proExM y MAP). No obstante, para poder comparar nuestros cerebros transparentes con los de los atlas académicos, lo que exige una interpretación precisa e inalterada del tejido original, ideamos un último paso opcional que reduce el tejido engrosado a su tamaño original.

Mi laboratorio, con Ye y otro miembro del equipo, Will Allen, diseñó y publicó un programa informático automático y de alta velocidad destinado a la captación y el análisis de las imágenes que cualquiera puede descargar y usar. El grupo de nuestro colega Marc Tessier-Lavigne, entonces en la Universidad Rockefeller y ahora rector de Stanford, hizo lo mismo con su nuevo método iDISCO. Estos dos artículos complementarios se han publicado en el mismo número de *Cell* este año. Mi grupo, en el que figuran Emily Sylwestrack, Priya Rajasethuphathy y Matthew Wrigth, también ha logrado que funcione en cerebros intactos un tipo fundamental de marcaje fluorescente simultáneo de varias moléculas de ARN con otra fórmula de tejido-hidrogel, algo que ya dimos a conocer el pasado marzo en un artículo en *Cell*.

ATAR CABOS

Sorprende mirar atrás y comparar el humilde boceto inicial de 2010 con su ejecución e integración funcional tan solo seis años más tarde. Uno de los objetivos fundamentales que ha impulsado ese progreso en la visualización del tejido-hidrogel ha sido complementar la optogenética en cerebros intactos con la información estructural de tales cerebros, objetivo culminado y publicado en varios artículos, entre ellos uno en el pasado número de junio de *Cell*. El trabajo descrito en ese artículo estaba centrado en la corteza prefrontal, una región responsable de la regulación de los procesos cognitivos complejos y de las emociones. Se espera que entender el modo en que ese área cortical controla comportamientos tan diversos podrá darnos pistas sobre trastornos psiquiátricos como el autismo o la esquizofrenia.

Junto a Ye, Allen y Kim Thompson, todos ellos en mi grupo, y otros colaboradores de otros laboratorios, como los equipos de Liqun Luo y Jennifer McNab, ambos en Stanford, primero recurrimos a la optogenética para definir una población de neuronas de la corteza prefrontal que se activa con las experiencias gratificantes, como el consumo de comida sabrosa o de cocaína, y que controla las respuestas comportamentales a ellas. Después hallamos una población complementaria de neuronas prefrontales que opera con las experiencias desagradables. Y por último, por medio de nuestros últimos métodos de tejido-hidrogel, pudimos demostrar que esas dos poblaciones se conectan de modo distinto en el cerebro; las positivas establecen conexiones preferentemente con un área profunda llamada núcleo accumbens, mientras que las negativas están más enlazadas con la habénula lateral, una protuberancia también profunda. De ese modo, los métodos de tejido-hidrogel y optogenéticos abren la puerta al estudio de los tejidos intactos de una manera hasta ahora imposible y nos permiten avanzar en la comprensión de las bases biológicas de la salud y la enfermedad.

Los sistemas complejos solo se aprecian por entero cuando se logra aunar la información local con la global, sea el sistema en cuestión un cerebro o un intrincado tapiz. En neurociencia, ahora es posible recabar enormes volúmenes de datos con detalles ricos y diversos que arrojan luz sobre la estructura, los componentes moleculares y la actividad celular del órgano intacto. Gracias a ello empieza a cobrar forma una perspectiva amplia y rica en matices sobre la función del cerebro.

Con la obtención de cerebros transparentes, nuestro grupo ha podido observar en la corteza prefrontal cómo las poblaciones de neuronas vinculadas con las experiencias gratificantes y desagradables se conectan de modo dispar

Conseguir tal perspectiva general con resolución local es difícil —e inusual—, pero es importante asumir el reto. Las propiedades emergentes de los sistemas complejos acostumbran a ser el fruto de las interacciones locales, como la trama del tapiz y como los propios procesos científicos. El cometido de cada tipo de hilo solo se esclarece con una mirada amplia.

PARA SABER MÁS

Methods and compositions for preparing biological specimens for microscopic analysis. Fecha de presentación: 13 de marzo de 2013. **www.google.com/patents/US20150144490**

Structural and molecular interrogation of intact biological systems. Karl Deisseroth et al. en *Nature*, vol. 497, págs. 332-337, 16 de mayo de 2013.

Optogenetics: 10 years of microbial opsins in neuroscience. Karl Deisseroth en *Nature Neuroscience*, vol. 18, n.º 9, págs. 1213-1225, septiembre de 2015. **www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4790845**

Página web de la técnica CLARITY: **clarityresourcecenter.org**

EN NUESTRO ARCHIVO

Control del cerebro por medio de la luz. Karl Deisseroth en *IyC*, enero de 2011.

EPIDEMIOLOGÍA

¿CÓMO PREVER Y CONTENER EPIDEMIAS COMO LA DEL ZIKA?

Aunque el virus se halla en el punto de mira, pocos son los que analizan las causas que subyacen al aumento de las enfermedades infecciosas emergentes en todo el mundo

Robert L. Dorit

Robert L. Dorit es catedrático del departamento de ciencias biológicas del Smith College, en Massachusetts. Su trabajo está centrado en la evolución de moléculas y bacterias y en el diseño de nuevos antibióticos.



La mayoría de las epidemias comienzan con sigilo. A inicios de 2015, los profesionales sanitarios de Brasil empezaron a detectar un número creciente de casos de una infección relativamente leve e inespecífica. Parecía causada por un patógeno transmitido por mosquitos llamado virus del Zika. El 7 de mayo de 2015, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de Salud Panamericana emitieron un comunicado epidemiológico en el que afirmaban, sin alarma, que las autoridades de salud pública de Brasil estaban investigando la posible transmisión del virus en el noreste del país. Parecía una escaramuza más en nuestra constante batalla contra las enfermedades infecciosas emergentes.

Sin embargo, a finales de otoño de 2015 ya resultaba evidente que el brote de zika era una epidemia de mayor magnitud que lo anticipado. Las consecuencias eran potencialmente desastrosas. En el noreste de Brasil comenzaron a observarse, cada vez con mayor frecuencia, casos de niños nacidos con la cabeza demasiado pequeña; sucedía casi exactamente unas 38 semanas después de haberse detectado las primeras infecciones de zika. El riesgo de dar a luz a un bebé con microcefalia en el estado brasileño de Bahía había aumentado de un valor previo del 0,02 por ciento a entre el 0,88 y el 13,2 por ciento en las mujeres infectadas por zika en el primer trimestre de gestación.

En el momento de escribir este artículo, se habían detectado más de 406.755 casos con sospecha de infección por zika en las Américas, de los cuales 56.685 han sido confirmados. Este virus, el primo lejano de otros más conocidos y temidos, como el dengue, la fiebre amarilla y la fiebre del Nilo Occidental, ha pasado de ser una infección ignorada e insignificante a ocupar un primer plano por su gran impacto. Como consecuencia de ella, miles de padres desolados atienden hoy a sus recién nacidos con problemas neurológicos graves.

Sin embargo, puede que el zika no siga ocupando el centro de atención mucho más tiempo. Se postula que las epidemias se hallan sometidas al efecto Warhol: cada agente infeccioso podrá gozar de sus 15 minutos de gloria (el artista pronunció la célebre frase «En el futuro, todo el mundo será famoso durante 15 minutos»). Con nuestra sed de drama, nuestra escasa capacidad de atención y retentiva y el efecto amplificador de los medios de comunicación, cualquier enfermedad emergente se convierte en una *cause célèbre* fugaz que acaba siendo olvidada igual de rápidamente.

El efecto Warhol tiene implicaciones importantes para quienes nos dedicamos a investigar enfermedades infecciosas: los miles de casos de zika confirmados hasta la fecha restan atención mediática (y fondos) de otras enfermedades prevalentes, mortales, de las que la población general ya se ha cansado. En el año 2015 se detectaron unos 214 millones de casos de malaria. En conjunto, la tuberculosis, el VIH, la malaria, las enfermedades diarreicas y la neumonía suponen la causa de fallecimiento de una de cada cinco personas en todo el mundo; pero ya no son noticia. Para la población sana, estas enfermedades forman parte de un sombrío telón de fondo que ya se asumen como algo normal. Se podrían salvar vidas, si atajáramos los problemas subyacentes a estas enfermedades.

Aun así, el zika sí merece atención. No solo tiene un impacto humano profundo, para muchos de por vida. También pone de manifiesto nuevos puntos débiles y fuertes en nuestra perpetua lucha contra los agentes infecciosos. Además, este brote subraya la importancia de vernos como ciudadanos del mundo. En los tiempos que corren, en los que cada vez se desconfía más de la globalización y se promueve la idea de que la colaboración entre naciones resulta incluso perjudicial, estos brotes nos recuerdan que navegamos todos en el mismo barco. El brote de zika es importante en sí mismo, pero también forma parte de una pauta más extendida que a menudo permanece oculta. Se necesita una respuesta coordinada ante los brotes infecciosos que aparecen cada vez con mayor frecuencia en todo el mundo. En lugar de saltar de una crisis a otra, cerrando fronteras, inculpando a inmigrantes y emigrantes, hacen falta una dedicación y un esfuerzo continuados de las instituciones internacionales para vigilar las enfermedades infecciosas y reaccionar ante ellas con coherencia.

¿POR QUÉ EL ZIKA? ¿POR QUÉ AHORA?

Desde que fuera descrito en 1947, solo se habían detectado casos aislados en África (y en otros lugares) de este virus: antes de 1981, se habían documentado menos de veinte. La cifra real sin duda fue superior, pero es fácil ignorar e infraestimar el número de casos al tratarse de una enfermedad con unas características clínicas leves e inespecíficas. Se han identificado anticuerpos anti-zika en hasta un 38 por ciento de las personas en estudios de poblaciones más exhaustivos realizados en África. Ello indica que la enfermedad se halla mucho más diseminada e infradiagnosticada de lo que se piensa y que debe de existir una exposición asintomática importante.

El virus se extendió sin que nosotros, el huésped, nos enterásemos. Esto fue cambiando a lo largo de las décadas siguientes. En 2007 se detectaron 108 casos de zika en una diminuta isla de la Micronesia, llamada Yap, donde el 73 por ciento de la población mayor de tres años había estado expuesta al virus. En 2013 el brote se produjo en la Polinesia francesa, con más de 32.000 personas afectadas. Un año más tarde, un visitante de las islas del Pacífico que regresó a Brasil actuó, sin saberlo, como mensajero de un virus previamente desconocido en América.

Se trata de la fase inicial del brote, que aún no ha alcanzado su pico más álgido. El virus se ha expandido desde su epicentro inicial, en el noreste de Brasil, hacia el sur, a otros países de Sudamérica, e inexorablemente hacia el norte, hasta los Estados Unidos. Desde 2015, ya son 47 países los que han documentado casos de zika por primera vez. La magnitud de este evento exige una explicación. ¿Qué ha sucedido en esta ocasión? ¿Por qué este virus, antes considerado insignificante, se ha convertido en un peligro mundial?

La respuesta no es sencilla. En epidemiología también existe una troica, constituida por el huésped, el patógeno y el vector, en la que los tres miembros se desplazan continuamente. Durante las pasadas dos décadas, la población ha ido reconfigurándose y ha ido facilitando la propagación de las enfermedades infecciosas. La población global sigue creciendo a razón del 1,1 por ciento anual, lo que aumenta el número de posibles huéspedes. Por otro lado, más de la mitad de la humanidad se concentra en las urbes, una situación que favorece aún más los contagios. En promedio, más de ocho millones de personas sobrevuelan el mundo al día, y otros millones se hallan en movimiento, transportando patógenos potenciales por todo el globo. Es difícil imaginar unas condiciones más propicias para la diseminación epidémica. En el momento de escribir este

EN SÍNTESIS

El virus del Zika, que en el pasado había ocasionado brotes de escasa magnitud, se ha convertido desde 2015 en una amenaza mundial. ¿Qué ha sucedido esta vez?

Gran parte de la respuesta puede hallarse en el cambio y el desplazamiento incesantes que están experimentando los tres elementos clave de la epidemia: el huésped (la población humana), el patógeno (el zika) y el vector (los mosquitos transmisores).

Ante esta y otras infecciones que aparecen cada vez con mayor frecuencia en todo el mundo se necesita una respuesta coordinada. Las nuevas tecnologías pueden ayudar a movilizar a ciudadanos y expertos en un frente común para detectar y contener nuevos brotes.



EN 2015, los médicos brasileños detectaron un aumento de las infecciones por zika, que se consideraron leves. Nueve meses más tarde se produjo un despunte de bebés nacidos con microcefalia, consecuencia de un desarrollo fetal anómalo. Arriba, la pediatra Danielle Cruz examina a Luhandra, una lactante de dos meses nacida con microcefalia, en el hospital de Recife, la ciudad con mayor número de casos documentados de trastornos neurológicos.

artículo, los 934 posibles casos de zika detectados en EE.UU. se atribuían a viajeros que procedían de países con una alta incidencia de la infección.

Esas tendencias no resultan nuevas, ni tampoco son específicas del zika. El aumento de la población y de viajeros interviene de forma fundamental en el auge de enfermedades infecciosas emergentes; sin embargo, el brote no puede explicarse solo con estas variables. El virus evoluciona y se adapta a las circunstancias cambiantes. Al igual que otros virus que almacenan la información genética en forma de ARN, el zika se caracteriza por su capacidad para el cambio constante. El mecanismo encargado de copiar y trasmitir la información de una generación a la siguiente es notoriamente impreciso en estos virus.

A diferencia de otras especies que replican su genoma con absoluta fidelidad, los virus de ARN transfieren información genética a la siguiente generación cargada de errores, algunos de alto impacto. Pero gracias a estos fallos, pueden innovar: cada partícula vírica, ligeramente diferente a su progenitora, constituye un experimento evolutivo. Más que una familia con lazos estrechos, cada virus y su descendencia forma un conglomerado de partículas que explora el entorno.

Tal estrategia resulta muy provechosa para numerosos virus, ya que les permite evolucionar de forma rápida en respuesta a la biología de sus huéspedes y de los vectores. Así, no sorprende que la cepa original del zika se haya diversificado en cientos de variantes, que han avanzado y se han diseminado de forma ineludible por todo el globo.

Aún no podemos precisar qué cambios en el genoma han sido los causantes de la trasformación del virus relativamente benigno de los años cincuenta a la variante agresiva de la actual década. Desde su descubrimiento, y a lo largo de la evolución ocurrida durante generaciones, el virus ha ido concentrando su acción contra las células madre neurales (las progenitoras del encéfalo del feto). Se sirve de un receptor que abunda en la superficie de estas células para penetrar en su interior y hacerse con el mando. También ha aprendido a ocultarse envuelto en anticuerpos maternos, que le permiten atravesar la barrera placentaria durante la gestación.

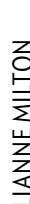
Desconocemos aún qué información del genoma vírico es responsable de esas argucias, pero una serie de mutaciones podrían ofrecer una explicación. En fecha reciente se ha empezado a considerar la posibilidad de que el virus se transmita por vía sexual, aunque de momento parece un mecanismo poco probable. En los pocos casos de personas infectadas que no viven en un país donde están tanto el virus como el mosquito transmisor, ni tampoco han viajado a él, la única posible vía de contagio sería por relaciones sexuales con una pareja que haya viajado últimamente a una región endémica.

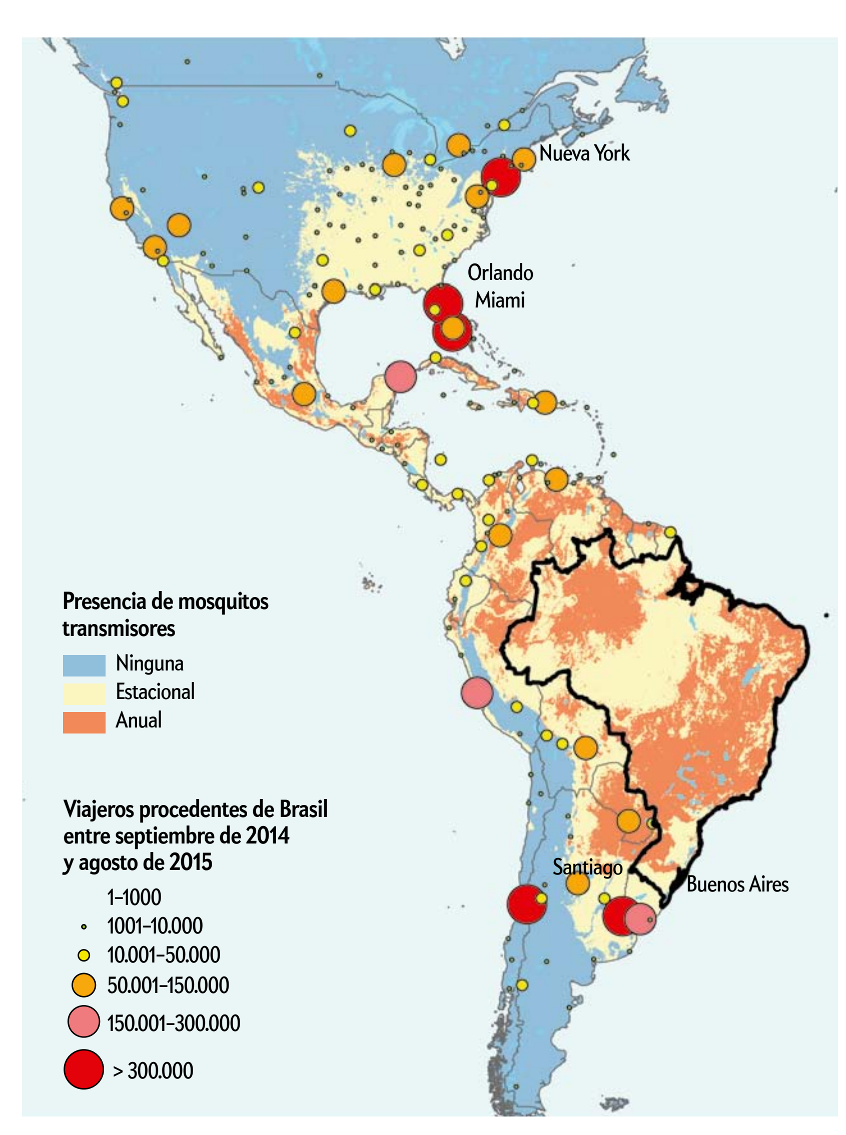
De hecho, ya se han identificado concentraciones del virus activo en muestras de semen de varones infectados. El zika se aprovecha del entorno privilegiado del aparato reproductor masculino, cuyo sistema inmunitario está atenuado para asegurar la supervivencia de los espermatozoides. Al concentrarse aquí, el virus podría estar desarrollando una nueva ruta de contagio, y en el proceso, se libraría de la necesidad del mosquito como vector. Es pronto para saber qué trascendencia puede tener esta nueva forma de transmisión. Lo cierto es que los patógenos que han condicionado su persistencia y prevalencia al contagio por vía sexual han demostrado un éxito escalofriante.

VECTORES QUE PROPAGAN LA INFECCIÓN

La asombrosa capacidad evolutiva del virus no logra explicar por completo las causas de la epidemia actual. El tercero en discordia, el mosquito, también está inmerso en una transformación extraordinaria. Los mosquitos son los pilotos todoterreno de las enfermedades infecciosas. Transportan todo tipo de patógenos de forma inadvertida. Este trabajo sucio no les aporta ninguna ventaja evolutiva. Es el patógeno el que ha aprendido a interceptar y usar esta ruta tan eficiente de transmisión. Cuando el mosquito succiona la sangre del huésped, se convierte en refugio indispensable para los patógenos hemáticos. Tras ser ingerido, a lo largo de los siguientes diez días el virus migra desde el intestino del mosquito a su sistema circulatorio, y de ahí a las glándulas salivares, donde permanece listo para ser inyectado cuando el mosquito pique al siguiente huésped.

Las dos especies de mosquito que parecen ser responsables de la epidemia en América son *Aedes aegypti* (el mosquito tigre) y *Aedes albopictus* (el mosquito de la fiebre amarilla). Ambas difieren en sus hábitos y su ecología. *A. aegypti* es sobre todo diurno, se alimenta en el exterior y puede alejarse para ello de su lugar de nacimiento. *A. albopictus* se nutre en sitios cerrados, sobre todo por las mañanas y por las tardes. Juntos han evolucionado para aprovecharse de la oportunidad que les ofrece la presencia humana, de modo que arremeten contra nosotros en cualquier momento del día, mientras estamos despiertos. Además, prefieren las «tapas» a las «comilonas»: pican a múltiples huéspedes to-





LA PROPAGACIÓN por igual de los vectores y los huéspedes ofrece unas condiciones ideales para una enfermedad infecciosa emergente. Este mapa muestra el efecto conjunto de la migración de personas fuera de Brasil (el actual epicentro del brote de zika) y el territorio abarcado por los mosquitos, los vectores del virus. Como consecuencia de ello, grandes áreas de todo América se han convertido hoy en zonas de potencial riesgo de transmisión del zika, bien en determinadas estaciones, o bien a lo largo de todo el año.

mando pequeños sorbos de cada uno. Ello facilita la diseminación del virus de unas personas a otras.

El virus del Zika explota esas características de los vectores para aumentar su transmisión. Lo más alarmante es que ambos mosquitos están ampliando su cobertura geográfica, empujados por la combinación de la creciente urbanización, la insalubridad y el cambio climático. *A. aegypti* se hallaba confinado a África Occidental en el siglo xv, y más recientemente se extendió en un cinturón tropical alrededor del ecuador. Ahora, se ha detectado su presencia más al norte, llegando hasta Virginia en Estados Unidos. Del mismo modo, a lo largo de los últimos 75 años *A. albopictus* se ha expandido desde su hábitat original en el sur de Asia hasta el Nuevo Mundo, donde se lo puede encontrar de la Patagonia a Massachusetts. El riesgo de infección por zika se mueve con los mosquitos. En los últimos meses, la perspectiva de infección en Estados Unidos ha pasado de ser una mera posibilidad a una realidad. Los esfuerzos se están centrando en erradicar a los mosquitos en zonas donde se han hecho fuertes, y también en las regiones donde la densidad de los vectores potenciales es elevada.

Las medidas tradicionales para eliminar los mosquitos, como el drenaje de aguas estancadas y el uso de insecticidas, resultan útiles pero insuficientes para lograr una erradicación completa. Los dos mosquitos se han adaptado a los hábitos humanos de tal modo que pueden poner sus huevos en el charco más pequeño imaginable. Hay varios proyectos ambiciosos en marcha, como el uso de ingeniería genética para crear mosquitos que siembren su propia destrucción o para inocular los mosquitos con *Wolbachia,* una bacteria que impide que el zika colonice el insecto. Se han desarrollado vacunas contra el zika en tiempo récord, y se hallan ya en fase de ensayos clínicos.

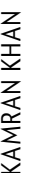
En conjunto, todos esos avances nos van a ayudar a volver a controlar la situación, aunque aún llevará tiempo. Nuestra inmunidad colectiva y nuestro ingenio lograrán acorralar al virus y que retroceda a su reservorio natural, por ahora. Pero la población humana seguirá siendo carne de cañón para futuras infecciones.

EPIDEMIOLOGÍA DE ALTO RIESGO

¿Cómo no las vimos venir, esta epidemia y tantas otras de las últimas décadas? Después de todo, los agentes infecciosos responsables de los brotes recientes ya eran en su mayoría conocidos. Los factores subyacentes de la epidemia (densidad de población, pobreza, globalización) se identificaron hace tiempo y cada vez se comprenden mejor. Y aun así, estos brotes nos cogen cada vez desprevenidos; somos incapaces de predecirlos y reaccionamos con lentitud. ¿Qué es lo que se nos está escapando?

Para responder a esta pregunta, hay que entender que la epidemiología es una ciencia de alto riesgo. Los científicos están entrenados para ser cautos al interpretar la información, mostrarse prudentes ante cualquier extrapolación y evitar extraer conclusiones sin pruebas suficientes. Tales prácticas constituyen la base de numerosos éxitos científicos, pero precisan perseverancia, apoyo, y sobre todo, tiempo. Sin embargo, cuando las autoridades de salud pública deben reaccionar ante los brotes, no pueden permitirse el lujo de esperar a tener toda la información contrastada. Deben buscar el equilibrio entre emprender medidas prematuras y demorarlas en un celo de cautela. Si responden muy pronto, se despilfarran recursos; si esperan demasiado, se multiplican las infecciones y muertes que podrían haberse evitado. La epidemiología no es para cobardes.

El 1 de febrero, solo varias semanas después del pico de casos de microcefalia en Brasil, la OMS declaró que el zika era una emergencia de salud pública de interés internacional. Esta designación oficial tuvo implicaciones económicas, legislativas y políticas; se pretendía atraer la atención y los esfuerzos de toda



la comunidad internacional para hacer frente a esta amenaza. La OMS hizo sonar la alarma mucho antes de que se conociera el alcance real de la infección o de que se supiera con claridad la relación entre el zika y los defectos neurológicos. El riesgo de esperar a tener pruebas era demasiado alto, por eso había que contrarrestar la cautela y el conservadurismo inculcados en los científicos. La decisión fue razonable, en parte porque en este campo disponer de pruebas supone un hecho singular.

En epidemiología, los sucesos asociados en el tiempo y el espacio son moneda corriente. Las pruebas rara vez provienen de la experimentación directa, por motivos éticos y prácticos. En este contexto, la correlación sí se considera una prueba indirecta de causalidad. A pesar de que los datos que apoyan el vínculo entre el zika y la microcefalia aumentan día a día, aún queda mucho hasta que ello pueda demostrarse de la manera acostumbrada. Se requiere trabajo arduo para recabar todas las pruebas moleculares, celulares y de desarrollo que relacionen el virus con sus devastadoras consecuencias. Hasta entonces, debe enfatizarse la utilidad de la inferencia estadística. Los epidemiólogos no pueden explicar el aumento simultáneo del zika y la microcefalia, salvo si argumentan, al menos por ahora, que el virus provoca estos defectos neurológicos.

La epidemiología pone en entredicho la creencia de que la ciencia se define por su capacidad de hacer predicciones exactas. Como la cosmología o la biología evolutiva, la epidemiología se mueve en un terreno donde la historia y la contingencia resultan fundamentales. Los expertos en este campo se esfuerzan por ser predictivos: intentan anticipar la gravedad de un brote infeccioso, precisar la localización de la próxima enfermedad emergente y estimar el posible efecto de las medidas de salud pública implementadas. Anticipamos el futuro basándonos en el pasado. Pero este juego de extrapolar resulta arriesgado cuando se trata de fenómenos en los que intervienen tantos elementos.

Cada elemento de un brote —huésped, vector, reservorio, agente infeccioso— está sometido a cambios constantes. No hay dos brotes que sean iguales. El virus del Zika, que se aisló por primera vez de un mono rhesus en Uganda en 1947, ha evolucionado drásticamente desde entonces. Los dos brotes previos (el de Yap y el de la Polinesia francesa) difieren del actual en su gravedad y en las consecuencias. Cada uno deriva de la confluencia de una serie de factores que nunca volverán a repetirse. De ahí que la capacidad de predecir en epidemiología se halle necesariamente restringida. A cambio, los epidemiólogos indagan en cada uno de esos episodios, buscando patrones y ahondando en nuestro conocimiento sobre la relación entre los humanos y sus patógenos.

La epidemiología no es para cobardes. Las autoridades de salud pública deben buscar el equilibrio entre emprender medidas prematuras o demorarlas en un celo de cautela

AHORA SOMOS LA RESISTENCIA

La gente está en pie de guerra frente a una enfermedad emergente que, de momento, juega con ventaja. Las escaramuzas que ha habido hasta ahora nos han mostrado un virus capaz de explotar cualquier oportunidad a su alcance. Las manifestaciones de la infección por zika varían de forma considerable, desde fiebre baja y exantema en algunos casos hasta parálisis transitoria y otros déficits neurológicos graves en otros; y en las mujeres embarazadas afectadas, puede provocar microcefalia en el recién nacido. Resulta cruel imaginar que todas ellas son consecuencias fortuitas de la evolución del virus.

La lucha entre los patógenos y sus huéspedes es tan antigua como el mundo, y ha derivado en una serie de treguas frágiles. Visto así, el brote del zika representa solo uno más de una larga lista. Estos forcejeos son cada vez más frecuentes: hay enfermedades infecciosas que aparecen (o reaparecen) con mayor frecuencia cada vez. Algo está cambiando en nuestra relación con los patógenos. A lo largo de la historia de la humanidad, la mayoría de los brotes eran locales. Se concentraban en una o unas pocas poblaciones donde la infección seguía su curso y dejaba atrás fallecidos y supervivientes inmunes. Todo ello ha cambiado.

Teniendo en cuenta que los huéspedes, vectores y patógenos se desplazan con rapidez por todo el globo, nos iría mejor si considerásemos a la población humana como una unidad, como un único organismo. La infección en cualquiera de sus partes amenaza al conjunto. De igual modo, si respondemos de forma efectiva a esta nueva realidad, nuestra vigilancia, contención y estrategias terapéuticas se traducirán en una respuesta inmunitaria a escala mundial. En un mundo globalizado, el precio que hay que pagar para tener salud es mantener una vigilancia constante.

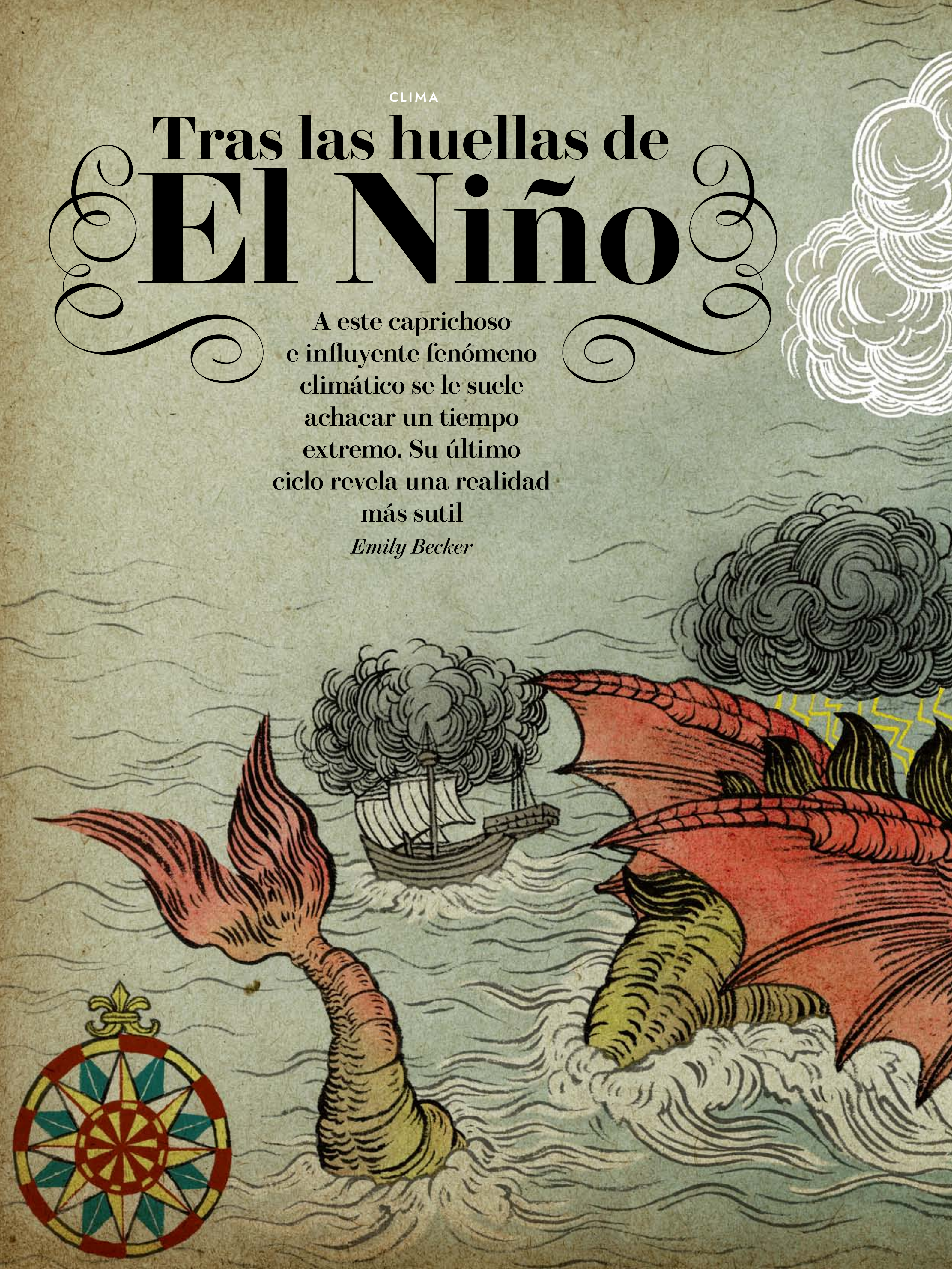
Pero a pesar de lo abrumador que resulta el problema de las enfermedades emergentes, no estamos indefensos. Las nuevas tecnologías, desde los teléfonos móviles hasta las búsquedas en Internet, sirven de sistema de vigilancia en caso de brotes nuevos. Mediante técnicas diagnósticas novedosas, los epidemiólogos pueden identificar los patógenos con mayor rapidez y resolución que antes. La propia interconexión que facilita la propagación de la infección ayuda también a movilizar a ciudadanos y expertos en un frente común para monitorizar las fases iniciales de un brote. Cuanto antes detectemos uno, con mayor probabilidad lograremos contenerlo. Gracias a la colaboración de la población y a los esfuerzos internacionales, somos algo más que meras víctimas pasivas. Ahora somos la resistencia. IyC

PARA SABER MÁS

Anticipating the international spread of Zika virus from Brazil. Isaac I. Bogoch et al. en *The Lancet*, vol. 387, págs. 335-336, 2016.
Association between Zika virus and microcephaly in French Polynesia, 2013–15: A retrospective study. S. Chauchemez et al. en *The Lancet*, vol. 387, págs. 2125-2132, 2016.
Zika virus in the Americas: Early epidemiological and genetic findings. N. R. Faria et al. en *Science*, vol. 352, págs. 345-349, 2016.
Zika and the risk of microcephaly. M. A. Johansson et al. en *The New England Journal of Medicine*, doi:10.1056/NEJMp1605367, 2016.
Assessing the global threat from Zika virus. J. Lessler et al. en *Science*, doi:10.1126/science.aaf8160, 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Las conexiones globales del zika. Dina Fine Maron en *IyC*, julio de 2016.
Juegos Olímpicos a prueba de zika. Knvul Sheikh en *IyC*, agosto de 2016.



Tras las huellas de El Niño

A este caprichoso e influyente fenómeno climático se le suele achacar un tiempo extremo. Su último ciclo revela una realidad más sutil

Emily Becker





n California se cultiva, entre toda una variedad de alimentos, el 90 por ciento de los tomates, brócolis y almendras que se consumen en Estados Unidos. Eso requiere una gran cantidad de agua. En la primavera de 2015, tras cuatro años de escasas precipitaciones invernales, el estado sufría una grave sequía. Los embalses se encontraban muy por debajo de su capacidad y los acuíferos se explotaban intensamente. En muchas zonas las montañas apenas estaban cubiertas de nieve, cuya fusión supone una fuente abundante de agua en primavera y verano.

Dada la situación, a nadie sorprendió que los agricultores californianos y sus vecinos tomaran buena nota cuando la Administración Nacional de la Atmósfera y los Océanos (NOAA) anunció que el patrón climático conocido como El Niño se estaba asentando sobre el océano Pacífico: según la sabiduría popular, El Niño trae a California copiosas lluvias.

El Niño representa la fase cálida de un ciclo de calentamiento y enfriamiento de las aguas superficiales del Pacífico tropical, cuya recurrencia se produce entre los tres y los siete años. El episodio frío recibe el nombre de La Niña. Cada uno suele perdurar entre seis meses y un año. Durante El Niño, las aguas cálidas calientan el aire que hay sobre ellas, lo que induce cambios en la circulación atmosférica que afectan a todo el planeta. La NOAA, el centro donde llevo a cabo investigaciones climáticas, suele pronosticar la llegada de El Niño o La Niña antes de que ejerzan su mayor influencia sobre el tiempo meteorológico global.

Pero, aunque los californianos albergaban grandes esperanzas, los efectos que El Niño suele causar tanto en esa región como en otras zonas del planeta no siempre se producen. De los 20 episodios de El Niño acaecidos desde 1950, cuando la NOAA comenzó a estudiarlos, solo la mitad han llevado a California precipitaciones superiores a la media durante la época de lluvias (diciembre, enero y febrero). En algunas ocasiones incluso se han observado efectos opuestos a los esperados. Y aunque los meteorólogos han perfeccionado sus técnicas para predecir un incipiente El Niño o La Niña, los cambios en el tiempo regional siguen siendo difíciles de vaticinar.

A principios de 2015, cuando California se secaba, los pronósticos hubieron de hacer frente a varias preguntas. ¿Sería intenso el próximo El Niño? ¿Salvaría a California? ¿Amplificaría los huracanes en el Pacífico y los reduciría en el Atlántico? ¿Abrasaría Australia, provocaría incendios forestales en Indonesia o haría desaparecer el invierno en el Noreste de EE.UU., como ha ocurrido otras veces en el pasado?



Emily Becker es investigadora del Centro de Predicción Climática de la Administración Nacional de la Atmósfera y los Océanos estadounidense (NOAA) en College Park, Maryland. Está especializada en diagnósticos y pronósticos climáticos.

Poder responder a tales preguntas sería de enorme utilidad para que agricultores, servicios de emergencia y el público general pudiesen tomar medidas ante la llegada de eventos meteorológicos extremos. Sin embargo, como ha mostrado el último El Niño, la ciencia que hay detrás es muy intrincada.

MARZO DE 2015: EL NIÑO HA LLEGADO

Los primeros indicios del desarrollo de El Niño se observan bajo la superficie oceánica. En el Pacífico tropical, el viento sopla generalmente de este a oeste (los vientos alisios, que antaño impulsaban a los veleros a través del inmenso océano). Esos vientos mantienen las aguas del Pacífico oriental y central un poco más frías; mientras, acumulan agua cálida en la región occidental, hacia Indonesia. Ocasionalmente, los vientos pueden debilitarse y favorecer durante meses el desplazamiento de lentas oleadas de aguas cálidas de oeste a este a lo largo del ecuador, en dirección a América del Sur. Ese fenómeno puede poner en marcha El Niño o reforzar uno que ya esté en curso.

En mi opinión y en la de otros meteorólogos, El Niño que se estaba gestando en 2015 daba muestras de que iba a alcanzar una gran magnitud. En los meses anteriores habíamos observado que la temperatura de las aguas oceánicas superficiales superaba la media del Pacífico tropical, incluida la región Niño-3.4, localizada en el Pacífico central y cuyo comportamiento nos sirve como principal referencia. No obstante, El Niño forma parte de un fenómeno donde los cambios producidos en el océano se acoplan con la atmósfera (El Niño/Oscilación del Sur), así que también vigilábamos esta para averiguar si respondía a ese aumento de las temperaturas oceánicas.

El agua, cuando está más cálida de lo habitual, aunque solo sea unos grados, contiene una enorme cantidad de calor. Ello calienta el aire situado sobre el océano y, de ese modo, los cambios producidos en el agua se acoplan con los de la atmósfera. Durante El Niño, la región centrooriental del Pacífico, más cálida, se convierte en el principal motor de un patrón de circulación atmosférica llamado circulación de Walker. En presencia de una intensa fuente de aire húmedo ascendente, ahora mucho más al este, los vientos superficiales se debilitan y en ocasiones cambian de dirección, pasando a soplar de oeste a este. Esta respuesta atmosférica conforma la Oscilación del Sur y representa un fenómeno de gran importancia para El Niño, ya que contribuye a que se mantenga y se refuerce por sí mismo.

En marzo habían comenzado a manifestarse los efectos del calentamiento del Pacífico tropical. La circulación de Walker se

EN SÍNTESIS

Los medios de comunicación e incluso algunos meteorólogos tienden a afirmar que ciertos episodios de tiempo extremo son causados por El Niño o La Niña. Sin embargo, estos no siempre producen los mismos efectos. Por ejemplo, El Niño de 2015-16 no llevó al sur de California las esperadas lluvias copiosas, imprescindibles para paliar la sequía de la región.

El Niño de 2015-16 ha figurado entre los tres más intensos registrados hasta la fecha. Afectó al clima en todo el planeta y causó un invierno más cálido en el noreste de Estados Unidos. Sin embargo, puede que también hayan intervenido el calentamiento global y otros patrones climáticos.

Los meteorólogos predicen que La Niña prevalecerá durante el invierno de 2016-17, algo que ocurre con frecuencia después de un episodio intenso de El Niño. La Niña también incrementa la probabilidad de eventos extremos.

PÁGINAS ANTERIORES: YUKO SHIMIZU

Causa y efecto

Los fenómenos climáticos El Niño y La Niña se producen cuando las temperaturas del océano Pacífico varían con respecto a las condiciones neutras (*ilustraciones*). En invierno de 2016, un El Niño intenso alteró la corriente en chorro sobre Estados Unidos e hizo que las precipitaciones fuesen más o menos probables en distintas regiones del planeta (*mapa*).

¿El Niño o La Niña?

En condiciones normales, las aguas cálidas del Pacífico occidental (A) calientan el aire, que asciende, causa precipitaciones y circula hacia el este al alcanzar la estratosfera. A continuación desciende y se desplaza hacia el oeste, donde acumula agua caliente. Si los vientos superficiales se debilitan durante unos meses, el agua caliente puede ir regresando hacia el este; ello altera la circulación de Walker y empuja el agua caliente a mayores profundidades, lo que desencadena El Niño (B). Por el contrario, si los vientos superficiales que soplan en dirección este-oeste se intensifican, se producirá un desplazamiento aún mayor de agua caliente hacia el oeste, donde se hundirá, lo que genera el fenómeno de La Niña (C). La reacción atmosférica a tales flujos de agua, que experimentan cambios continuos a lo largo de varios meses, se denomina Oscilación del Sur.

¿Qué ha ocurrido en 2016?

A comienzos de 2016, El Niño facilitó que la corriente en chorro subtropical que atraviesa EE.UU. se desplazara hacia el sur. El desvío de la corriente y una mezcla cambiante de agua salada caliente y fría (*anaranjado y azulado*) provocaron el aumento o la reducción de las precipitaciones en distintas regiones (*manchas azules y rayas rosas*). Sin embargo, al igual que cada año, también influyeron en el tiempo global otros factores.

A Neutro
Circulación de Walker
Estratosfera (altitud: 15 kilómetros)
Vientos
Océano Pacífico
Termoclina
Caliente
50 m
Frío
Profundidad: 1000 metros
Superficie oceánica más fría de lo normal
Superficie oceánica más cálida de lo normal
B El Niño
C La Niña

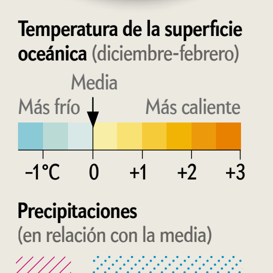
COMPLICACIÓN ADICIONAL: La Oscilación Ártica

Al inicio de 2016, este patrón atmosférico del Atlántico norte experimentó un cambio de estado que permitió que aire frío del Ártico penetrase en el noreste de EE.UU., lo que causó el enfriamiento de un invierno que había comenzado con altas temperaturas.

COMPLICACIÓN ADICIONAL: El cambio climático

El calentamiento de la atmósfera y los océanos podría modificar la naturaleza de El Niño y La Niña y el grado en que afectan al clima local. Con todo, los meteorólogos aún no están seguros de sus efectos.

Corriente en chorro subtropical
Región Niño-3.4
Ecuador
Cortes transversales mostrados arriba



COMPLICACIÓN ADICIONAL: La Oscilación de Madden-Julian

Se trata de una zona tormentosa que se desplaza hacia el este a lo largo del ecuador y suele cruzar el Pacífico en pocas semanas. En enero de 2016 intensificó y atenuó temporalmente los efectos de El Niño.

FUENTE: ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE LOS OCÉANOS Y LA ATMÓSFERA DE EE.UU. (*mapa*); GEORGE RETSECK (*ilustración*), JEN CHRISTIANSEN (*mapa*)





EL NIÑO puede traer consigo efectos muy desiguales. En el invierno de 2016 no produjo el esperado aumento de las precipitaciones en el centro de California y, por tanto, no resultó de gran ayuda para mitigar la larga sequía (*1*). En episodios anteriores, sin embargo, sí se produjeron copiosas nevadas en los estados centrales de la costa atlántica estadounidense, como la tormenta de enero de 2016 (*2*).

JUSTIN SULLIVAN, GETTY IMAGES (*sequía*); MATT MCCLAIN, GETTY IMAGES (*tormenta*)

estaba debilitando. Por otro lado, observamos ráfagas de vientos procedentes del oeste por encima de la región tropical pacífica, que facilitan el desplazamiento de aguas superficiales más cálidas hacia el este. El calor a mayores profundidades del Pacífico también era elevado, lo que podía extender el acoplamiento atmosférico. Tras doce meses de observación, la NOAA publicó un aviso sobre El Niño. La partida había comenzado.

MAYO DE 2015: LAS PROBABILIDADES AUMENTAN

Hacia el mes de mayo, la NOAA había determinado que existía un 90 por ciento de probabilidades de que aquella vez El Niño durase todo el verano, y un 80 por cierto de que se prolongara hasta finales de 2015. La agencia confiaba en esta predicción porque las temperaturas se habían mantenido en el Pacífico ecuatorial sustancialmente por encima de la media de abril. Lo mismo ocurría en las aguas situadas hasta 300 metros por debajo de la superficie oceánica. Por otra parte, la respuesta atmosférica también se había intensificado.

Pero ¿qué efectos meteorológicos cabía esperar? ¿Y qué ocurriría en California? En general, las mayores repercusiones de El Niño sobre las temperaturas y las precipitaciones se observan a comienzos del invierno, para cuya llegada todavía faltaban seis meses. Algunas señales daban a entender que sería muy intenso, como otros en el pasado. En Australia aparecían la sequía y las olas de calor (allí el otoño estaba dando paso al invierno). Y la temporada de ciclones del Pacífico occidental había comenzado ferozmente, con siete tormentas bautizadas ya en mayo, cuando la media es de dos.

JULIO DE 2015: EN PLENA ACCIÓN

A comienzos de julio, casi todos los modelos informáticos concordaban y el océano y la atmósfera seguían portándose según lo previsto. El Niño estaba bien establecido y las predicciones no dudaban de que se intensificaría significativamente. Se pensaba que la temperatura media trimestral de la superficie oceánica en la región Niño-3.4 alcanzaría un valor cercano al máximo conocido, parejo al de los dos episodios más intensos de El Niño registrados hasta la fecha: 1997-98 y 1982-83.

Los habitantes del sur de California que recordaban el invierno de 1997-98 esperaban tormentas contundentes y un fuerte oleaje. Durante El Niño de 1982-83 y el de 1997-98, las condiciones meteorológicas invernales indujeron el desplazamiento de la corriente en chorro subtropical del Pacífico (un cinturón de aire que fluye hacia el este en lo alto de la atmósfera por encima de EE.UU. y que, a menudo, repercute en el tiempo) hacia latitudes más meridionales, en dirección al sur de California. Las fuertes tormentas, alimentadas por la humedad procedente de las aguas calentadas, dejaron copiosas lluvias que llenaron los embalses y causaron corrimientos de tierra a lo largo de una costa empapada.

Los agricultores y los residentes esperaban que el nuevo El Niño trajera consigo grandes precipitaciones en diciembre. Según los meteorólogos, existía un 60 por ciento de probabilidades de que, durante el invierno de 2015-16, las lluvias de las regiones del sur de California y de los estados que bordean el golfo de México se situaran en el tercio superior del registro histórico. El pronóstico se basaba parcialmente en distintas señales, entre ellas el propio El Niño, y en compararlas con las tendencias pasadas a fin de comprobar si podrían variar las probabilidades de obtener tal o cual resultado.

OCTUBRE DE 2015: VIENTOS INESPERADOS

En octubre, California se hacía grandes esperanzas. Se aproximaba el apogeo de El Niño 2015-16 y el episodio todavía figuraba entre los más intensos. Sin embargo, observamos un fenómeno inesperado. Los vientos superficiales del Pacífico ecuatorial, importantes para mantener las altas temperaturas de la superficie oceánica, no se habían debilitado tanto como otras veces. En 1997-98 disminuyeron tanto de intensidad que, en octubre y noviembre, soplaron en la dirección contraria, de oeste a este, lo que provocó el desplazamiento de una cantidad aún mayor de agua caliente desde el lejano Pacífico occidental hacia el central, con el consiguiente reforzamiento de El Niño.

Los humanos tendemos a esperar que el resultado de un determinado conjunto de circunstancias sea siempre el mismo. Pero, en la naturaleza, la variabilidad es la norma. Un año con un El Niño de alta intensidad trae en invierno unos 40 días de lluvia a la región litoral del norte de California, frente a unos 26 cuando no se da el fenómeno. Aun así, en el invierno de 1965, durante uno de los seis El Niño más intensos, el número de días lluviosos fue inferior a la media de cuando no tiene lugar. Por otra parte, también nos preguntábamos si el actual calentamiento global sería otro factor a tener en cuenta. Si lo era, la predicción de los efectos de El Niño entrañaría aún mayor dificultad.

ENERO DE 2016: GRAN ACTIVIDAD

Hacia enero El Niño había alcanzado cotas impresionantes. En diciembre se había batido el récord del índice Niño-3.4 al reba-

sarse la media de ese mes en 2,32 grados Celsius, un valor que superaba la desviación de 2,24 grados que se había registrado en diciembre de 1997. Sin embargo, El Niño se analiza en última instancia en escalas de tiempo estacionales, así que el parámetro al que realmente prestábamos atención era el promedio trimestral de la anomalía térmica (la desviación respecto a la media a largo plazo) en la superficie oceánica. Entre octubre y diciembre de 2015, la anomalía alcanzó 2,3 grados, el máximo valor registrado junto con el de 1997.

Fuera de California, los efectos de El Niño se ajustaban en muy gran medida a lo esperado. En el este de África se registraron muchas más precipitaciones de lo habitual durante la temporada de «lluvias cortas» (de octubre a diciembre). En el sur de África continuaba la sequía. En Uruguay, el sur de Brasil y Paraguay las precipitaciones eran intensas, mientras que en la región septentrional de América del Sur se daban condiciones áridas.

En Australia, El Niño suele causar sequía en la mayor parte del continente desde julio hasta diciembre, pero en 2015 no hubo un déficit de precipitaciones apreciable, excepto en algunas zonas al este del país. Tal vez el hecho de que la temperatura del Índico marcase un récord tuviese un intenso efecto en sentido contrario. Eso nos recuerda que el sistema climático tiene muchas partes móviles y que, por tanto, no puede garantizarse que siempre vaya a ocurrir lo que uno espera del El Niño.

Según lo previsto, en el noreste de EE.UU. se registraron temperaturas elevadas. Al igual que en Australia, El Niño no era el único responsable del inusual tiempo en Washington. El patrón atmosférico denominado Oscilación Ártica —cuya manifestación por excelencia es el «vórtice polar» de vientos que circunda el Ártico— se había intensificado considerablemente. A diferencia de algunos inviernos recientes, en los que el vórtice era débil y permitía que penetrara aire frío en EE.UU., en diciembre de 2015 había cobrado fuerza y el aire helado había quedado retenido en latitudes septentrionales, lo que permitió que el aire cálido del sur de EE.UU. se desplazara hacia el norte.

Otros fenómenos oceánicos y atmosféricos independientes de El Niño también pudieron influir en el tiempo de distintas partes del planeta. Uno de ellos es la Oscilación de Madden-Julian (OMJ), una zona de tormentas que circunda el ecuador propagándose hacia el este y cuya actividad perdura varias semanas. El fenómeno puede vigorizar temporalmente los efectos de El Niño, pero también atenuarlos. Aún no está resuelto si la OMJ y El Niño se refuerzan o debilitan mutuamente.

Otro factor es la Oscilación Decenal del Pacífico, una relación entre las temperaturas superficiales del este y el oeste del Pacífico septentrional que, a menudo, tarda 15 años o más en cambiar de estado. Todos los patrones citados se influyen unos a otros. Y, desde luego, el cambio climático podía afectar a cualquiera de ellos de una manera aún impredecible.

Las calurosas Navidades de Washington D.C. y los extremadamente cálidos meses de noviembre y diciembre en el este de América del Norte parecían derivar de una combinación de El Niño, el aire frío retenido en las proximidades del Ártico y una activa Oscilación de Madden-Julian, a lo que había que añadir un componente de gran magnitud que no podía explicarse por esos factores. A pesar de los grandes titulares de los diarios y las categóricas declaraciones televisivas de los meteorólogos, que achacaban a El Niño los fenómenos extremos, no es posible señalar con el dedo una tormenta concreta o una ola de calor o de frío y decir «eso es El Niño». Este influye en el trasfondo climático, lo que permite atribuirle parcialmente un conjunto de fenómenos meteorológicos, pero no eventos concretos.

En California, las esperanzas de que el Niño pudiera contribuir a mitigar la sequía se desvanecían rápidamente. En diciembre y a inicios de enero, las precipitaciones se situaron por encima de la media en el norte del estado, pero en la mitad sur se ajustaron al promedio. Una breve serie de tormentas procedentes del Pacífico llegó finalmente en los tres últimos días de enero, traída por un «río atmosférico de humedad» que se dirigía directamente desde los trópicos hacia la costa oeste de Estados Unidos. El fenómeno dejó una considerable cantidad de nieve en Sierra Nevada, cuya posterior fusión en primavera prometía ser beneficiosa.

«Por supuesto, un mes húmedo no va a erradicar la sequía en California», escribió en su blog Tom Di Liberto, uno de mis colegas de la NOAA. «Así como en algunas partes del interior y el centro de California se han registrado precipitaciones por encima de la media, ciertas áreas del sur, entre ellas la muy poblada franja costera que se extiende desde Santa Bárbara hasta San Diego, han visto precipitaciones un 75 por ciento por debajo de lo normal.» Las tormentas, concluyó, «deberán producirse con más frecuencia para que este año se recupere la normalidad», por no hablar de subsanar los déficits en embalses y acuíferos que llevan acumulándose desde 2011. Ni siquiera un El Niño de gran magnitud garantiza lluvias copiosas en California. Simplemente, inclina la balanza de probabilidades hacia un invierno más húmedo de lo normal.

Tras las cálidas Navidades vividas en el centro de la costa atlántica estadounidense, la nieve azotó la región en enero y provocó que Capitol Hill quedara dos días paralizada. De nuevo, se trataba de un extraño suceso meteorológico. La gente estaba ya lista para todo el bombo acerca de El Niño, pero, nuevamente, no es posible atribuir a un solo factor climático una tormenta aislada, y menos aún una tan compleja. Aunque al menos seis de las diez tormentas más intensas registradas en Washington D.C. han tenido lugar durante un episodio de El Niño, tuvieron que combinarse muchos más elementos para originar la gran tormenta de 2016; entre ellos, una ola de frío, un Atlántico cálido que aportó humedad a la tormenta y un intenso sistema frontal. Quizá puedan hallarse las huellas de El Niño en algunos de esos factores, pero es difícil discernirlas. Durante El Niño, la corriente en chorro subtropical suele encauzar las tormentas a través de los estados del golfo de México, así como sobre Georgia y las dos Carolinas, pero generalmente escapan hacia el Atlántico por el sur de Maryland y Virginia. Aun así, en algunas tormentas, la corriente en chorro gira más hacia el norte, en dirección a Washington D.C. Se trata de algo poco usual durante El Niño, pero no totalmente fuera de lo común.

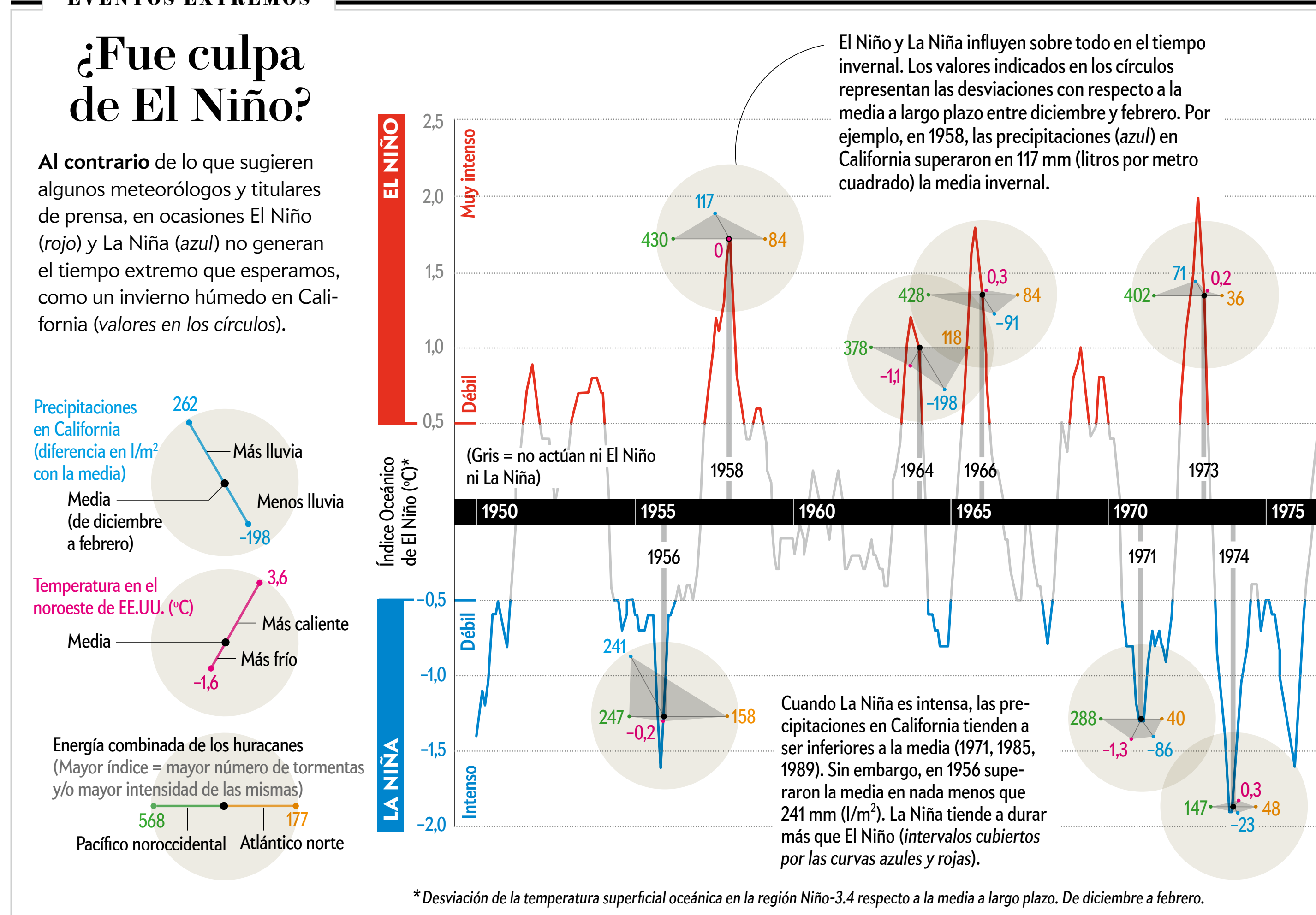
MARZO DE 2016: LOS TRES GRANDES

En marzo habíamos visto lo bastante para abordar la afirmación, muy generalizada y repetida en los medios, de que EE.UU. y el planeta estaban viviendo El Niño más intenso jamás registrado. Teníamos un conjunto completo de datos para 2015-16 que podíamos comparar con los de los otros dos eventos de mayor intensidad: los de 1982-83 y 1997-98. Sin duda, se trataba de uno de los tres episodios más intensos desde 1950. Pero es difícil establecer una clasificación, ya que la fuerza de El Niño puede medirse de distintas maneras.

El parámetro básico que utilizamos en la NOAA es el Índice Oceánico de El Niño. Este refleja el grado en que la media trimestral de la temperatura oceánica superficial de la región Niño-3.4 se desvía de la temperatura promedio calculada a largo plazo. Entre noviembre de 2015 y enero de 2016, dicho índice alcanzó

¿Fue culpa de El Niño?

Al contrario de lo que sugieren algunos meteorólogos y titulares de prensa, en ocasiones El Niño (*rojo*) y La Niña (*azul*) no generan el tiempo extremo que esperamos, como un invierno húmedo en California (*valores en los círculos*).



*Desviación de la temperatura superficial oceánica en la región Niño-3.4 respecto a la media a largo plazo. De diciembre a febrero.

2,3 grados, el mismo valor que en 1997-98. También hacemos un seguimiento de otras áreas oceánicas, como el Pacífico oriental (más cálido en 1997-98) y el occidental (más cálido en 2015-16), y tomamos en consideración la segunda parte de El Niño/Oscilación del Sur, que es la importantísima respuesta de la atmósfera a las temperaturas oceánicas. En general, la reacción atmosférica fue mayor en 1997-98 que en 2015-16.

En lo que respecta al tiempo y al clima invernal, en los tres casos se observó una serie de efectos similares, pero también notables excepciones. Entre ellas, que la mayor parte de las precipitaciones de California se registraron en el norte, no en el sur. Los climatólogos todavía se pasarán años tratando de dilucidar por qué esa pauta fue distinta a la mostrada en los inviernos de otros el El Niño de gran intensidad. Hay multitud de factores que podrían influir, como el hecho de que los océanos están mucho más calientes hoy que durante los otros dos El Niño más intensos. Además, siempre existen fenómenos caóticos y de escasa duración que hacen que, aun cuando un El Niño parezca idéntico a otro, su repercusión en el tiempo meteorológico no tenga por qué ser necesariamente la misma.

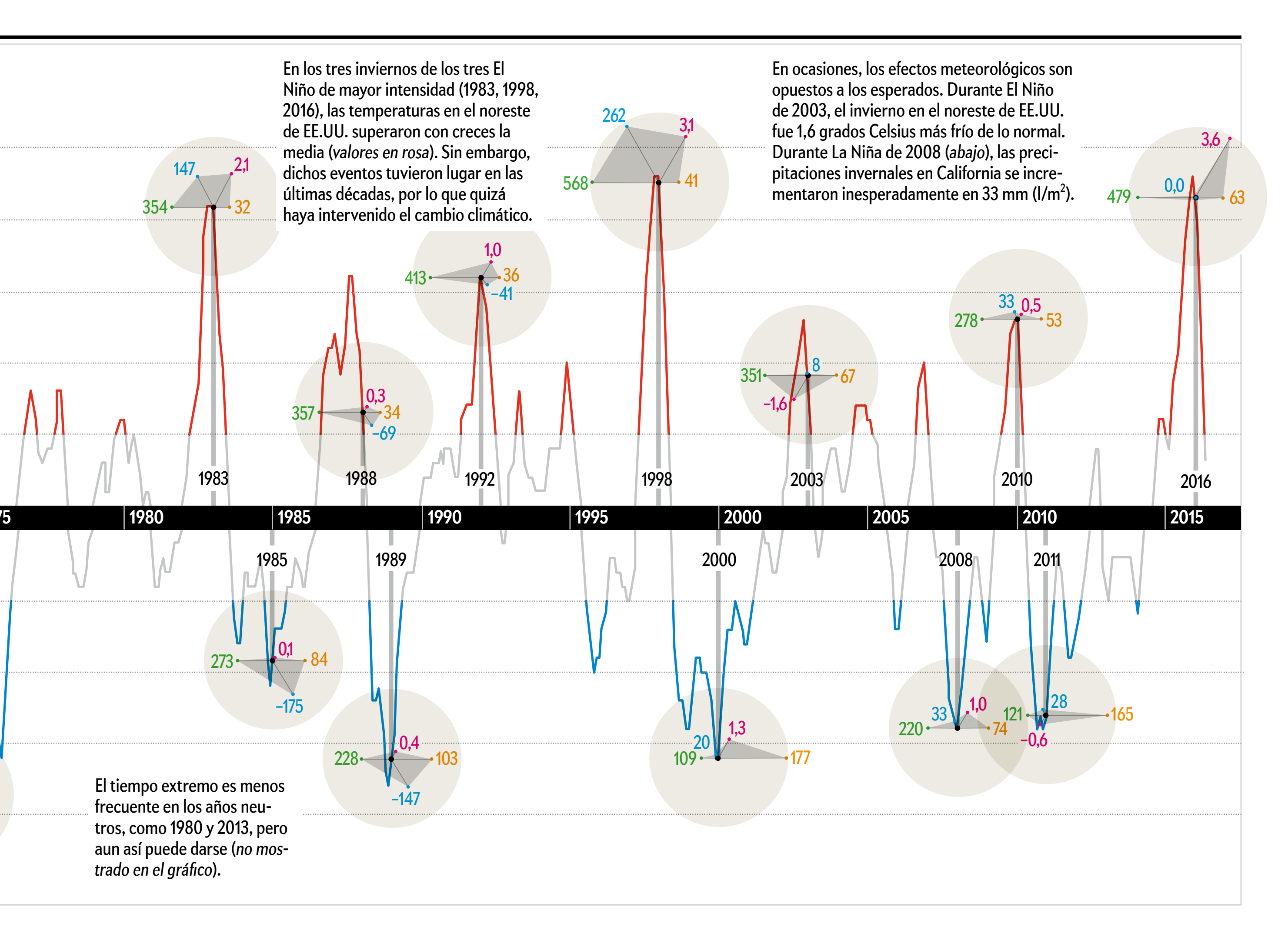
¿TURNO DE LA NIÑA?

Un año después de que la NOAA anunciara la llegada de El Niño, el episodio estaba tocando a su fin. En febrero de 2016, las anomalías térmicas en la superficie oceánica de la mayor parte del Pacífico ecuatorial habían disminuido; al mismo tiempo, la gran masa de agua subsuperficial que estaba más caliente que la media también había empezado a enfriarse.

En marzo parecía probable que, para comienzos de verano, las condiciones pudieran ya calificarse de neutras, y se estimaba que había un 50 por ciento de probabilidades de que en otoño se desarrollara La Niña. Así ha ocurrido tras seis de los diez El Niño moderados o intensos registrados desde 1950. Con todo, el tamaño de la muestra es demasiado pequeño para confiar en el pronóstico.

Nuestros modelos informáticos tienen dificultades para elaborar pronósticos exactos en primavera (en concreto, de marzo a mayo), época en que El Niño y La Niña suelen debilitarse y dar paso a una fase neutra. Durante ese período de transición, el tiempo en América del Norte es muy variable, lo que con frecuencia ahoga las señales de ambos fenómenos.

No obstante, la mayoría de los modelos concordaban en que en otoño de 2016 llegaría La Niña. En abril, la NOAA lanzó un protocolo de vigilancia y, en agosto, concluimos que existía un 50 por ciento de probabilidades de que La Niña se produjese en otoño. Los ordenadores procesaron los datos más recientes y hallaron que las temperaturas oceánicas superficiales en el Pacífico continuarían descendiendo hasta el punto de llegar a cruzar el umbral de La Niña (0,5 grados por debajo de la media). Por otra parte, bajo la superficie del Pacífico ecuatorial se estaban acumulando aguas con temperaturas inferiores a la media. Es interesante señalar que las aguas subsuperficiales de la región



FUENTES: NOAA (*datos de temperaturas y precipitaciones*); PHILIP KLOTZBACH (*datos de huracanes*); JEN CHRISTIANSEN (*gráfico*)

Niño-3.4 alcanzaron su récord de temperaturas bajas en 1998, justo después del intenso El Niño de 1997-98.

Por lo general, las repercusiones de La Niña en EE.UU. son opuestas a las de El Niño, aunque no del todo. La Niña usa sus propias vías para alterar los vientos del oeste y la corriente en chorro. Entre otras cosas, tiende a crear condiciones favorables para la formación de huracanes en el Atlántico. La previsión oficial de la temporada de huracanes, publicada en agosto por la NOAA, pronosticaba una temporada de huracanes entre habitual y más intensa que la media en el Atlántico Norte, ya que se estaban dando también otros factores. En California, los inviernos tienden a ser secos durante La Niña.

OSCILACIÓN

Pese a su temible reputación, El Niño no suele causar a nivel mundial un mayor número de desastres que los vistos en otros años. Sin embargo, las catástrofes relacionadas con él son más predecibles. Si los Gobiernos y los planes de emergencia tuvieran en cuenta los pronósticos estacionales relativos a El Niño, podrían trasladarse recursos hacia determinados lugares antes de que sobreviniese el desastre y mitigar así los estragos causados por un El Niño que genere los efectos habituales.

Aún no sabemos a ciencia cierta en qué medida interaccionará el calentamiento global con los ciclos de El Niño y La Niña. Algunos estudios indican que el calentamiento generalizado de los océanos acentuará El Niño, pero otros sugieren que el calentamiento global podría atenuarlo. Dado que en el sistema global participan grandes fenómenos atmosféricos y oceánicos en los que se alternan de forma natural diferentes estados (por ejemplo, la Oscilación Decenal del Pacífico), resulta difícil dilucidar hasta qué punto ha podido influir hasta ahora el calentamiento global en El Niño y cómo podría hacerlo en un futuro.

Con todo, hay algo que sí podemos afirmar casi con certeza. Los corales fósiles demuestran que los ciclos de El Niño y La Niña se han estado repitiendo durante miles de años. Así que, sea con episodios de mayor o menor intensidad, ambos fenómenos seguirán produciéndose. ■

PARA SABER MÁS

Página web divulgativa sobre El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) de la NOAA: **www.climate.gov/enso**
Página web sobre ENSO del Instituto Internacional de Investigación sobre el Clima y la Sociedad: **http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/enso**
Blog sobre ENSO de la NOAA: **www.climate.gov/news-features/department/enso-blog**
Página web sobre ENSO del Laboratorio Medioambiental Marino del Pacífico: **www.pmel.noaa.gov/elnino/what-is-el-nino**

EN NUESTRO ARCHIVO

El comportamiento anómalo de la corriente en chorro. Jeff Masters en *IyC*, febrero de 2015.

HISTORIA DE LA FÍSICA

Leibniz y el principio de mínima acción

Trescientos años después de su muerte, manuscritos inéditos de Leibniz retratan a un filósofo natural a la altura de Newton

Hartmut Hecht

La física cuenta, como cada ciencia, con sus propias galerías de honor. En lo que respecta a la transición de la estática a la dinámica, que vio nacer la física en sentido moderno, ocupan un lugar destacado Galileo, Christiaan Huygens y, sobre todo, Isaac Newton. A este último, el poeta inglés del siglo XVIII Alexander Pope llegó a atribuirle cualidades casi divinas en un verso muy conocido:

Nature and Nature's laws lay hid in night;
God said, Let Newton be! and all was light.

(«La naturaleza y sus leyes yacían en la oscuridad
Dijo Dios: ¡Sea Newton!, y el mundo se hizo claridad».)

FILOSOFÍA APLICADA: Al margen de sus trabajos filosóficos y matemáticos, Leibniz dedicó buena parte de su tiempo a investigar cuestiones físicas, algunas de marcado carácter práctico. En esta hoja, extraída de un manuscrito de doce páginas titulado *La formación del sonido, su propagación a través del aire y su recepción en el oído*, el sabio universal narra cómo cree haber descubierto «por qué quien desea romper un cristal con la fuerza del sonido (*parte resaltada en amarillo*) ha de subir una octava el tono que identifica al golpear el cristal».

longiorem altera RS. sed aliam aeque tentam crassamque non
totam quidem attamen duabus suis medietatibus TV, VZ
singulatim, priori RS nonnihil (quod pennulis in locis
X X adhaerentibus apparuit) contremuisse, nam revera sin-
gula partes TV, VZ ipsi RS sunt unisonae, et putem
determinari quoque posse, quid in aliis chordarum duarum
proportionibus sit futurum quae res iterum nostram explica-
tionem egregie illustrat nam ut hic in chorda percipimus,
ita in aere colligimus, partes sponte naturae assignari
tales, ut vibrationum isochronismus servetur # melius quod
hic notandum, videtur hoc erat quod chorda chordam unisonam imita-
tur si in eadem sint tabula lignum enim velut corpus solidius
sonum fortius propagat, et hanc in rem notari potest experi-
mentum in diario eruditorum gallico aliquando relatum de duobus
horologiis ab eodem ligneo sustentaculo suspensis quorum vi-
brationes perfecte congruebant aut ex composito turbatae ad
concordiam redibant, quod sola aeris connexio non effecisset
cessavit enim consensus, ubi a communi sustentaculo sunt amota.
patet autem ex his quomodo chorda qualibet ipsumque adeo
lignum pro diversis suis partibus cuilibet alteri corpori
unisonum intelligi possit. Unum tamen corpus alio aptius et aptissi-
me omnium aer et organon auditus in hoc a natura destinata
His jam explicatis facilius intelligetur quomodo organon
auditus sit cuilibet corpori sonoro unisonum. Et sane possumus
enumerare omnes modos possibiles quibus id consequi licet.
Et autem unum corpus diversis aliis (inter se non unisonis) uni-
sonum vel actu vel potentia, actu secundum diversas suas par-
tes easque rursus vel discretas vel continuas. Discretae sunt in
lyra, quae potest diversis aliis chordis esse consona, secundum diversas
suas chordas. Aliquando continuae sunt partes, ita paulo an-
te ostendimus aerem imo et chordam proxime propositam
sponte quadam in partes abire magnitudinis tantae, ut
cum data tensione sua fiant dato corpori unisonae, ita
in chorda TZ ipso sonandi opere partes assignantur TV, VZ
singulae ipsi RS unisonae. Potentia denique consonum intelligi
potest unum aliis diversis, si scilicet prout opus est plus mi-
nusve tendatur aut laxetur. Naturam autem cujus inimita-
bilis est sagacitas, arbitror omnes modos possibiles in organo
auditus conjunxisse. Nam et cavitates aere implevit et mem-
branam extendit, quam tympanum vocant, et trans tympanum
in ossis petrosi labyrintho [illegible], variae magnitu-
dinis partes conjunxit, minores celerioribus seu acutioribus,
majores gravioribus sonis seu vibrationibus exprimendis aptas.
Cum igitur sonus incidit in cavitatem auris, primum ab aere
exprimitur modo dicto, deinde tympanum pulsatum tenditur

8

[illegible]

quibus consentiunt egregie quae
habet Chalesius in Musica ad
explicandos Tubae et similium
saltus a Mersenno propositos
dum enim vehementius inspiratur
tuba, cogitur aer ad celeriorem motum,
cumque in tota tuba vibratio sit per
modum unius chordae, chorda autem
tantae longitudinis tantum motum
facile praestare non possit, dividitur
tota haec quasi chorda per medium
et bifariam, ut ita dividatur in partes
consonas (ne vibrationes se mutuo
perturbent). Atque hoc se quoque ex-
pertum refert Galilaeus, cum enim
laminam aream aut ferream aliquando
ita teneret, ut ejus etiam vibrationes
animadverteret, quotiescunque motus
ejus erat concitatior, non tota
lamina per modum unius vibrabatur,
sed dividebatur vibratio in duas et
tonus ascendebat per octavam. ita
dum scyphi aqua pleni labra digito
teruntur si vehementior sit motus
ascendit sonus ad octavam. Hinc etiam ut
obiter dicam, veram, ni fallor, rationem
inveni cur is qui vitrum
soni vehementia rumpere conatur
ascendat ad octavam ejus soni
[illegible]
vitrum, [illegible] tam vehementem
agitationem [illegible] facile recipiat,
potius dividitur bifariam, nam qualibet
pars facilius agitatur, et [illegible]
dimidium ad octavam ascendat
respectu totius) eo ipso cum
eo qui sonum edit perfecte
consonat, non minus quam una
pars alteri; vibrationesque non
sese mutuo confundunt,
sed juvant atque magis magisque
intendunt. Cum vero sonus
et valde sit vehemens,
et satis diu continuatus
[illegible]
(quae duo ad
rumpenda sono vitra
requiruntur) continuatis semper
novis impulsibus, motum continuo
acceleratum [illegible]
[illegible]

Las distintas historias de la física, en cambio, no tienen mucho que decir sobre Leibniz. Las clásicas, desde la de Ferdinand Rosenberger hasta la de Edmund Hoppe, redactadas a finales del siglo xix y principios del xx, mencionan ante todo sus trabajos pioneros sobre la ley de la conservación de la energía y el principio de mínima acción. El fisiólogo Emil du Bois-Reymond lo describió con su característica elocuencia en una conferencia sobre Leibniz pronunciada en 1870: «Su obra se encuentra llena de intuiciones brillantes sobre el futuro de la ciencia, pero en esa adivinación se muestra más un genio natural que la fuerza de una línea de pensamiento sistemática».

Con todo, la importancia de Leibniz en la historia de la física fue fijada sin tener en cuenta la totalidad de su rico legado, hasta hace poco difícilmente accesible. Solo ahora, gracias a la edición de obras y correspondencia inéditas, ha quedado ese material al alcance de los investigadores. Ello nos permite reabrir la cuestión [*sobre el trabajo de edición de la obra completa de Leibniz llevado a cabo por varias instituciones alemanas, así como la Sociedad Española Leibniz para Estudios del Barroco y la Ilustración, véase* «El arte de editar a Leibniz», por Eberhard Knobloch; Investigación y Ciencia, mayo de 2013].

El mismo Leibniz expresó esa idea en una frase dirigida al escritor y filósofo Vincent Placcius: «Quien solo me conoce por mis publicaciones no me conoce». El historiador de la física Ernst Gerland lo comprobó en 1906, al editar una selección de manuscritos científicos y técnicos de Leibniz sobre neumática, acústica, óptica y dinámica. Gerland demostró que Leibniz no solo debía ser considerado precursor de algunos principios físicos fundamentales, sino también un investigador riguroso y original. En sus trabajos sobre acústica, por ejemplo, analizó la propagación del sonido mediante ondas longitudinales, situándose con ello en la vanguardia de la física de su tiempo. A pesar de todo, y conforme al espíritu de la época, Gerland se hallaba tan convencido del extraordinario valor de la obra de Newton que atribuyó a la lectura de los *Principia* el estímulo inicial de los trabajos acústicos de Leibniz. No obstante, esa hipótesis se torna insostenible tras la publicación, por parte de la Academia de las Ciencias de Gotinga, de la correspondencia entre Leibniz y Günther Christoph Schelhammer, profesor de medicina en la ciudad de Helmstedt.

Tanto Newton como Leibniz fueron gigantes intelectuales del siglo xvii que no solo rivalizaron en el terreno de la matemática, sino que compitieron también por solucionar los problemas más candentes de la física de entonces, enzarzándose en disputas de prioridad. Cuando, en 1689, Leibniz publicó en *Acta Eruditorum* (la revista alemana más prestigiosa del momento) su análisis del movimiento en medios resistentes, Newton creyó ver sus propios resultados. Y, de hecho, Leibniz solo había publicado las conclusiones de sus trabajos, pero no la deducción matemática, la cual habría dejado patente la originalidad de su propuesta. Una vez más, son sus manuscritos los que nos revelan la ruta que siguió hasta alcanzarla.

Hartmut Hecht es miembro de la Sociedad Leibniz de las Ciencias de Berlín. Desde 1984 trabaja en la edición de los manuscritos de Leibniz; entre 2001 y 2013 dirigió el equipo encargado de la edición de los escritos científicos, médicos y técnicos.



La edición de los escritos científicos, médicos y técnicos de este sabio universal, los cuales integran la serie VIII de la edición académica de sus obras, completa nuestra imagen del sabio y muestra que, de manera paralela a Newton, Leibniz propuso una concepción alternativa de la física cuyo desarrollo posterior revestiría grandes consecuencias.

UN EXPERIMENTADOR EXCEPCIONAL

Entre marzo de 1672 y noviembre de 1676, Leibniz vivió en París, una capital científica de la época junto con Londres. Su mentor fue nada menos que Christiaan Huygens. Leibniz trabó amistad con el genial experimentador Edme Mariotte y con Denis Papin, filósofo natural de su misma edad, inventor de una olla a presión que prefiguraba la máquina de vapor y de un submarino. Nuestro sabio mantendría correspondencia con ambos durante toda su vida.

El joven Leibniz no había llegado a París con las manos vacías. En dos trabajos previos, *Teoría del movimiento abstracto* y *Nueva hipótesis física*, había representado sistemáticamente los fenómenos físicos a partir de las reglas para el choque elástico propuestas por Huygens en 1668. El trato con los académicos parisinos le proporcionó una comprensión más profunda de las ciencias y dejó en él una fuerte impronta. Fue en París donde formuló los problemas y los principios de investigación sobre los que habría de volver una y otra vez. Sus intereses iban desde la óptica y la neumática hasta la navegación o el magnetismo, pasando por la mecánica y la cinemática. Tres siglos después, sus manuscritos no solo nos fascinan con sus ideas y razonamientos poco comunes. Sus esbozos, borradores y anotaciones dejan asimismo entrever la intensidad y la pasión con la que el joven Leibniz abrazó la investigación experimental.

El mejor ejemplo de ello lo hallamos en los *Experimenta nova*, de Otto von Guericke: Leibniz redactó un resumen completo en 1672, el mismo año de su publicación. Lo que más le llamó la atención no fueron los espectaculares experimentos sobre el vacío, como los realizados con la bomba de aire o con los célebres hemisferios de Magdeburgo, pues nuestro erudito ya estaba familiarizado con ellos gracias a la lectura de las obras del jesuita Caspar Schott. Lo que realmente captó su interés fue el sistema del mundo de Guericke, que contradecía la concepción cartesiana dominante. Si para los cartesianos el espacio solo podía ser concebido como *plenum*, es decir, como espacio lleno de materia, Guericke postuló la existencia del vacío como

EN SÍNTESIS

Leibniz realizó varias contribuciones clave a la física de su tiempo. La publicación reciente de algunos de sus manuscritos inéditos ha reabierto la cuestión sobre su importancia histórica.

El sabio no solo destacó por sus consideraciones teóricas, sino también por su pericia experimental. Fiel al lema ***theoria cum praxi***, siempre buscó la aplicación de sus ideas.

Sus reflexiones sobre el móvil perpetuo allanaron el camino para formular lo que más tarde se convertiría en el principio de conservación de la energía.

Sus ideas filosóficas sobre el «mejor de los mundos posibles» le llevaron a considerar el principio de mínima acción, un postulado fundamental que permite deducir las leyes de Newton.

un estado físico real. Junto con los escritos sobre neumática de Huygens y Blaise Pascal, los *Experimenta nova* pusieron a Leibniz en contacto con la más reciente investigación experimental de la naturaleza.

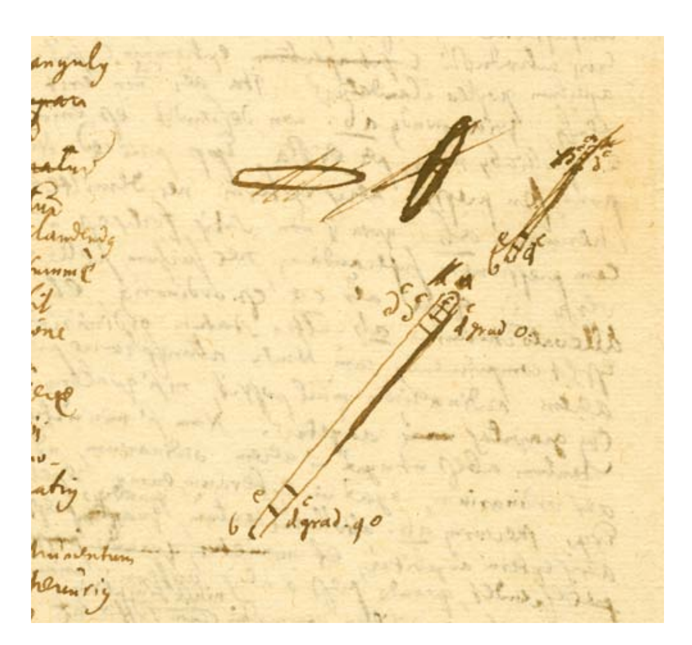
Estos autores se remitían a los numerosos datos experimentales obtenidos en ensayos con cámaras o recipientes de vacío. No obstante, ni académicos ni mecánicos lograban ponerse de acuerdo sobre las regularidades que gobernaban los fenómenos asociados al vacío ni sobre sus causas. Para discernir entre las distintas teorías en liza, Leibniz concibió un experimento memorable. Este consistía en introducir mercurio en un tubo de cristal, de manera que, al hacerlo, el metal dejase atrapada una burbuja de aire en la parte inferior. Si el extremo superior del tubo se sellaba después herméticamente, se disponía de un instrumento en el que el mercurio separaba dos bolsas de aire, una inferior y otra superior (algo similar a cuando, en un nivel de burbuja, el aire separa el líquido situado a derecha e izquierda). Al inclinar el tubo desde la posición vertical, la columna de mercurio se desplazaría. Con ello, Leibniz pretendía investigar las causas de los fenómenos de vacío; en particular, si la posición del mercurio dependía de la compresión del aire situado por debajo, de la dilatación del aire emplazado arriba, o de ambas.

Leibniz calculó la altura que debía alcanzar la parte inferior de la columna de mercurio según la inclinación del tubo bajo las distintas hipótesis, y propuso grabar estos valores teóricos como escala sobre su *instrumentum inclinationum* («instrumento de inclinación»). La lectura de dicha escala permitiría distinguir entre las tres teorías que se barajaban entonces: «Este experimento puede comprobar la verdad y refutar el error», escribió. Se trata de un ejemplo paradigmático de lo que los filósofos llaman *experimentum crucis* («experimento crucial»), ya que permite decidir entre distintas vías de conocimiento. El experimento se considera hoy una demostración de la ley de Boyle-Mariotte, según la cual, a una misma temperatura, el producto de la presión y el volumen de un gas permanece constante. En el instrumento de Leibniz, dicha ley se hace evidente porque la altura de la columna se mantiene idéntica para cualquier inclinación. Bajo condiciones bien definidas, las relaciones funcionales pueden ser verificadas o refutadas experimentalmente.

Leibniz destacó por el número de experimentos que propuso y por la manera única que tenía de plasmarlos en esquemas gráficos. Con ello intentaba relacionar distintos fenómenos a fin de descubrir las causas comunes. Extraer información a partir de un experimento mental y sus variaciones se convirtió para él en un método más de investigación.

Una de sus máximas más conocidas era *theoria cum praxi*: la unidad de teoría y práctica constituía para Leibniz un principio fundamental, presente en su obra desde los primeros escritos. El instrumento de inclinación, por ejemplo, no solo permitía contrastar con elegancia una ley de la naturaleza, sino que la determinación precisa de la verticalidad (señalada por la distancia mínima entre el extremo inferior del tubo y la columna de mercurio) tenía aplicaciones en geografía, navegación y arquitectura, así como en mecánica, geometría o en el ajuste de telescopios.

A partir de sus estudios sobre el funcionamiento del sifón, Leibniz concibió una idea para construir una clepsidra, o reloj de agua, extraordinariamente precisa. Su diseño aporta un buen ejemplo de cómo Leibniz era capaz de automatizar procesos enteros. El flujo constante de agua no solo garantizaba el buen funcionamiento de la clepsidra, sino que, gracias a la adición de un contador, automatizaba la medida del tiempo.



TEORÍA Y EXPERIMENTO: Leibniz también destacó por su pericia experimental. Aquí se muestra un esbozo de su *instrumentum inclinationum*, un dispositivo concebido para poner a prueba las distintas teorías de la época sobre las propiedades del vacío y los gases. El instrumento constaba de un tubo de cristal en el que una columna de mercurio separa dos burbujas de aire. Leibniz calculó la altura que debía alcanzar la parte inferior del mercurio según la inclinación del tubo bajo las distintas hipótesis en liza.

El registro automático de datos observacionales era especialmente importante para el funcionamiento de sistemas autorregulados, como muestran sus esbozos técnicos para las minas del macizo del Harz. También ideó una máquina capaz de registrar automáticamente el curso de una nave, trasladarlo a una carta náutica, calcular las desviaciones con respecto al curso previsto y corregir el rumbo. El dispositivo que concibió para ello, el *instrumentum longitudinum* («instrumento de longitud»), responde a su interés por la determinación de la longitud, que a su vez se inscribe en una estrategia de gran alcance para mejorar la navegación marina. Si la clepsidra fue diseñada como un reloj náutico muy preciso, el nuevo instrumento tenía también varios usos; entre ellos, mejorar las tablas de loxodrómicas (de rumbo constante) de Simon Stevin, matemático e ingeniero militar del siglo XVI, y Pierre Hérigone, astrónomo y matemático francés de principios del XVII.

EL MÓVIL PERPETUO

La aplicación práctica del conocimiento constituía un elemento clave en la concepción que Leibniz tenía de la ciencia, y esa fue la razón principal por la que se embarcó en la autorregulación de los procesos técnicos de las minas del Harz. Pero su talento creativo y su virtuosismo manual se hacen especialmente patentes en sus intentos por construir un móvil perpetuo. Hoy damos tales proyectos por imposibles y los descartamos sin más con una leve sonrisa. Según la ley de la conservación de la energía, ninguna máquina puede suministrar energía indefinidamente sin absorberla del exterior. Sin embargo, esta ley no era conocida aún en tiempos de Leibniz. Sus trabajos sobre el móvil perpetuo allanaron el camino hacia su formulación.

Todo comenzó con el diseño de una máquina neumática que presentó a un conocido ingeniero al servicio del Electorado de

Maguncia, Johann Daniel Crafft. En 1671, Crafft confirmó haber visto los planos con estas palabras:

> Declaro que el Sr. Dr. Leibniz me ha mostrado hoy su proyecto de movimiento perpetuo. Prometo comunicarle de buena fe mis propios descubrimientos y experimentos al respecto. Y ninguno de los dos perjudicará al otro, sino que todo se hará de común acuerdo. Maguncia, 14 de julio de 1671. De puño y letra: Joh. Daniel Crafft.

La máquina objeto de tanto secretismo constaba de una especie de fuelle (*follis*) capaz de generar movimiento mediante su ascenso y descenso regular en el seno de un fluido. El fuelle se encontraba inicialmente plegado en el fondo de un recipiente que contenía el fluido. Al insuflarle aire, ascendía. Una vez en la superficie, era deshinchado, lo que causaba su hundimiento y el ciclo comenzaba de nuevo. No resulta fácil percatarse de que hinchar el fuelle sumergido requiere más energía que la que se obtiene al deshincharlo. Por supuesto, ni siquiera el complejo mecanismo concebido por Leibniz evitaba ese defecto fundamental de construcción.

Unos años después, durante su estancia en París, Leibniz no abandonó el problema del móvil perpetuo. Pero, en lugar de intentar diseñar y construir una máquina compleja, se centró en la formulación de una teoría general sobre los movimientos periódicos. Algunos de los manuscritos de su época en París sobre mecánica documentan esa transición. Leibniz concluyó que la creación de un movimiento continuo requería dos fuerzas que no eran reducibles la una a la otra, ya que «la razón por la cual se restituye la fuerza no cabe buscarla en la fuerza restituida». Esta idea mostraba la imposibilidad de los móviles perpetuos tradicionales, pues en ellos es una única fuerza la que genera la ilusión de un movimiento periódico recurrente.

Su proyecto sobre un «reloj de viento perpetuo», el *horologium ventaneum perpetuum*, ilustra con claridad tales consideraciones. Redactado en París en 1675, Leibniz lo presentó en audiencia al emperador Leopolodo I en 1688:

> Muchos han buscado el movimiento perpetuo, pero la forma en que generalmente lo han hecho, por ejemplo, como un reloj que se mantiene en funcionamiento por su propia fuerza, no resulta factible, ya que viola el axioma general de la potencia, pues así debería *effectus seyn potentior sua causa integra*. Sin embargo, es posible restituir el movimiento de relojes y otros mecanismos mediante potencias insensibles latentes en la naturaleza, sin intervención humana. He ideado dos formas de conseguirlo. La primera, la más admirable, mediante un pequeño reloj de sobremesa, lo que hace que no sea fácil de descubrir. La otra, menos artificial pero muy visible. Imaginé que un gran potentado quería erigir un obelisco o pirámide a su mayor gloria, con un reloj inaccesible en lo alto que

CAUSAS COMUNES

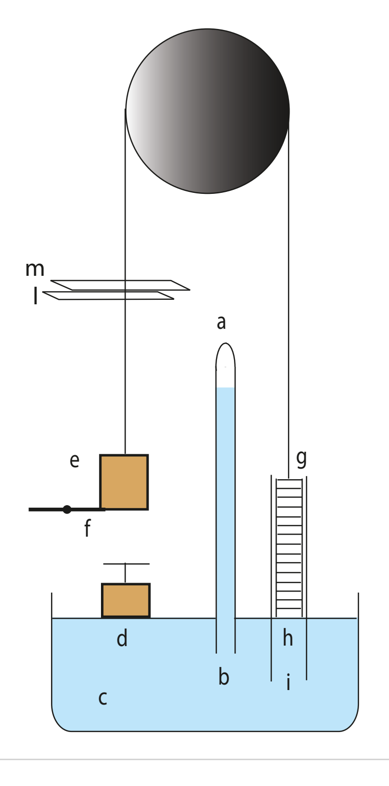
Un experimento mental sobre el vacío

La extracción de información a partir de un experimento mental se convirtió para Leibniz en un instrumento más de investigación. Este diagrama (*esbozo original a la izquierda*) corresponde a una serie de experimentos concebidos para estudiar las propiedades del vacío. En el interior de un recipiente de vacío (*no representado*) se encuentra un tubo de Torricelli, *ab*, una bomba de vacío, *gi*, y dos placas adheridas, *ml*.

Al bombear el aire del recipiente, el fluido que llena el tubo *ab* desciende y fluye hacia la vasija, *c*. La ascensión de un cuerpo flotante, *d*, acciona la palanca *f* y libera el peso *e*, cuya caída desplaza el pistón *gh* hacia arriba. El ascenso del pistón hace subir el nivel del fluido, con independencia de que se haya evacuado el recipiente o no. Según Leibniz, la bomba debería funcionar en el vacío igual que en condiciones normales, y la presión del aire no podía ser la causa de la aspiración del fluido en la bomba. Por la misma razón, argumentaba Leibniz, la presión del aire no podía explicar que las placas se mantuvieran adheridas.

El esbozo corresponde a tres experimentos distintos de los 19 que Leibniz describió en el texto correspondiente. El pensador los reunió porque no pretendía analizar los experimentos individuales, sino descubrir la causa general de todos los fenómenos observados.





BIBLIOTECA GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ, BIBLIOTECA ESTATAL DE BAJA SAJONIA, HANNOVER (LH XXXVII 3 BL. 102 R) (*original*); SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT, SEGÚN EL AUTOR (*esquema*)

no solo marcara el tiempo (sin la intervención de ninguna fuerza externa), sino que se corrigiera a sí mismo según la posición del sol y que funcionara varios años sin que nadie lo tocara y sin que fuera fácil hacerlo. Esta invención es una de las más memorables.

En principio, las agujas no debían responder a la acción del viento, sino a la de un peso que, al descender por efecto de una fuerza constante, las movería. Es evidente que no basta con disponer de una «fuerza», como en este caso sería la procedente del viento, sino que se trata también de «ordenar» la posición de las agujas, de modo que marchen al ritmo de un movimiento periódico constante.

A partir de tales reflexiones, Leibniz dio por imposible la construcción de un móvil perpetuo, ya que la idea se basaba en la ilusión de reemplazar sin más la fuerza usada, sin atender a consideraciones de orden. Y a la inversa: una observación exhaustiva de las relaciones de orden conducía a un móvil perpetuo ideal pero no practicable, ya que cada elemento requería una aportación adicional, la cual debía ser suministrada por la propia máquina.

Sobre la base de tales premisas, Leibniz introdujo en 1686 en *Acta Eruditorum* el concepto de «fuerzas vivas», definido como mv^2. Salvo por el factor de 1/2, dicha cantidad se corresponde con la energía cinética, y podemos considerarla la contribución de Leibniz a la formulación de la ley de la conservación de la energía. Observemos también que el término científico «dinámica» (*dynamica*) se debe a Leibniz, y que el reloj de viento de 1675 supone la aparición, por primera vez en la historia de la ciencia, de la idea de almacenamiento de energía.

Leibniz introdujo los conceptos de orden y magnitud en 1674, cuando aún hablaba vagamente de dos fuerzas; más adelante hablaría de razones causales y finales. La acción de las segundas presuponía entender el espacio como una mera relación de orden. Y ciertamente se trataba de un tipo de relación particular, ya que cada punto del espacio se encontraba determinado en sí mismo «en la mayor medida posible». Su orden era óptimo en el sentido de la idea leibniziana del mejor de los mundos posibles. De aquí se desprende que la optimización desempeñaba un papel clave en la física de Leibniz, un aspecto que la distinguía de la de Newton.

¿NEWTON FRENTE A LEIBNIZ?

Las investigaciones recientes muestran que Leibniz contribuyó de manera significativa tanto a la formulación de los principios fundamentales de la física como a la comprensión de numerosos fenómenos particulares. Siendo así, ¿por qué apenas aparece en los manuales e historias de la física?

Una primera respuesta es que sus ideas no fueron publicadas. Tras solucionar un problema, Leibniz daba la cuestión por zanjada. No solía publicar, aun dejando los manuscritos listos para la imprenta. El texto de la figura que abre este artículo constituye un buen ejemplo. El mismo Leibniz observó que le interesaban más los métodos que las soluciones a problemas específicos, ya que los métodos ofrecían un abanico de soluciones. Sin embargo, esta explicación no resulta suficiente, pues sus coetáneos eran muy probablemente conocedores de sus ideas. Las cuestiones sobre física abundan en su correspondencia, mantenida con unas 1300 personas. La discusión con Schelhammer a la que aludíamos al principio, al igual que el intercambio con Mariotte sobre la teoría de la resistencia a la rotura, hacen referencia a resultados que siguen siendo válidos. Con frecuencia, tales cartas eran copiadas y reproducidas en las mismas revistas científicas en las que publicaba Leibniz.

Una segunda razón sería que Leibniz se hallaba tan avanzado a su tiempo que no podía aspirar a la aprobación de la República de las Letras, lo que le llevó a renunciar a comunicar sus resultados. Emil du Bois-Reymond ya avanzó esta posibilidad, que encaja con lo que sabemos sobre la historia de la teoría matemática de los determinantes. Sin embargo, como explicación general, parece más motivada por el culto al genio que por hechos históricos.

Propongo que busquemos la causa en la controversia con Newton sobre el cálculo infinitesimal, que, como es bien sabido, acabó siendo una disputa de prioridad. Hoy sabemos que ambos rivales llegaron a resultados equiparables por medio de caminos completamente distintos. Mientras que Newton basó su método de fluxiones en la realidad de los movimientos físicos, Leibniz construyó su «cálculo» (*calculus*) sobre el concepto del continuo. En el caso de la física, la situación se antoja fascinantemente similar. Sus resultados para el movimiento en medios resistentes y para la ley de la refracción óptica eran tan coincidentes que levantaron la sospecha de plagio. Sin embargo, ambos genios partieron de concepciones muy distintas de la física en cuanto a ciencia.

Newton fundó su física en las tres conocidas leyes que enunció en el primer libro de los *Principia*: un cuerpo permanece en su estado de reposo o movimiento rectilíneo y uniforme mientras no actúe sobre él ninguna fuerza; el cambio en la cantidad de movimiento (el producto de la masa por la velocidad) es proporcional a la fuerza aplicada; y el principio de acción y reacción, *actio* = *reactio*. Para Newton, el problema del movimiento en física consistía en determinar la trayectoria de un cuerpo sometido a una fuerza dada, la cual, a su vez, podía depender de la posición de dicho cuerpo.

Para Leibniz, en cambio, la ley fundamental de la física no tenía la forma de una ecuación de movimiento, sino que era la ley de conservación de la magnitud mv^2. Con ayuda de las cantidades que se conservaban, las «fuerzas vivas», Leibniz intentó reducir el problema del movimiento a conceptos matemáticos. Pero, al hacerlo, se situó en desventaja respecto a Newton. En efecto, la ley de la conservación de las fuerzas vivas conduce a una única ecuación, cuando son necesarias tres para describir el movimiento en el espacio. El formalismo de Newton satisface esta condición porque fuerza y momento son vectores de tres componentes. Leibniz, en cambio, debe buscar refugio en la metafísica y recurrir al principio de la elección del mejor de los mundos posibles para conferir a su teoría la significación necesaria. Ello le valió el reproche de ser un «físico metafísico» y lo relegó a un segundo plano.

Con todo, sus puntos de vista no cayeron en saco roto. Como más tarde observaría Hermann von Helmholtz al formular la ley de la conservación de la energía:

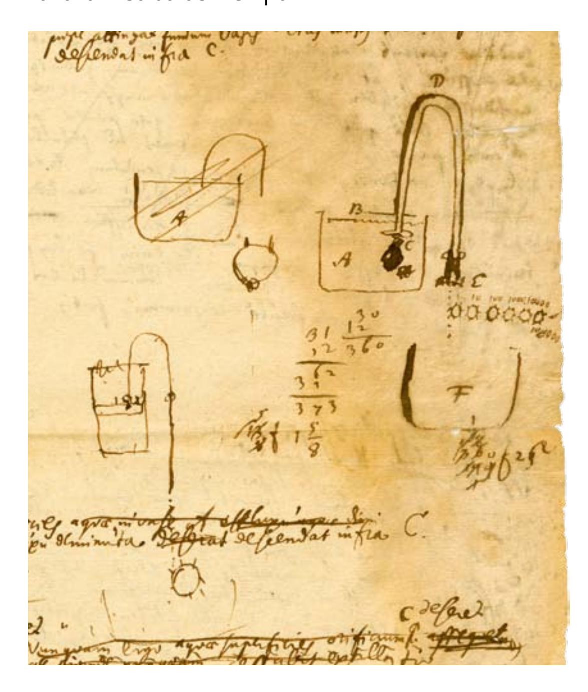
> Tras considerar diversos movimientos sujetos a la acción de cierto tipo de fuerzas, Leibniz enunció la siguiente proposición: la suma de las fuerzas vivas de un sistema de masas se mantiene constante cuando las distintas partes del sistema vuelven a ocupar las mismas posiciones relativas tras su movimiento.

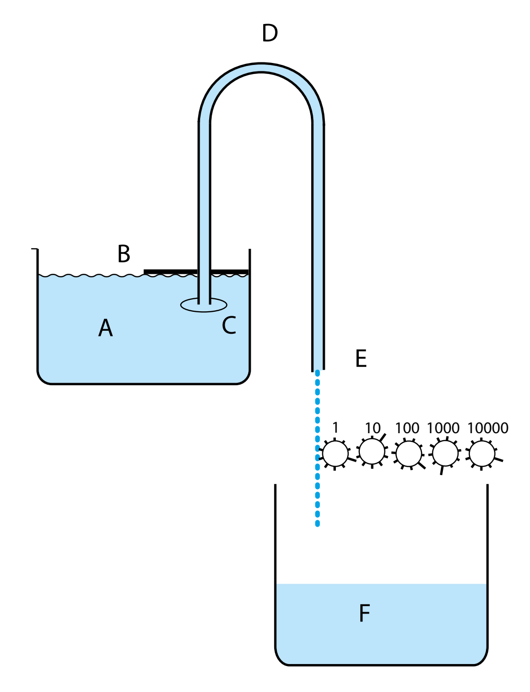
Afirmación que posteriormente desarrollaría del siguiente modo:

> En relación con las últimas y más importantes cuestiones de la física, a la que propiamente deberíamos denominar filosofía natural, como los ingleses, es de suma importan-

La clepsidra perfecta

Leibniz se mostró capaz de automatizar por completo algunos procesos mecánicos. A partir de sus estudios sobre el funcionamiento del sifón, concibió una idea para construir un reloj de agua extraordinariamente preciso. Según el esquema reproducido aquí (*a la izquierda, el esbozo original*), el extremo *C* del tubo curvado *D* se encuentra fijado a un flotador, *B*. El tubo desciende con el nivel del agua en el recipiente *A*, pero lo hace de manera que la presión en el extremo *E* se mantiene constante y, con ella, el ritmo de goteo del líquido. Un sistema de ruedas dentadas decimales cuenta las gotas. El flujo constante de agua no solo garantizaba el buen funcionamiento de la clepsidra, sino que, gracias a la adición del contador, automatizaba la medida del tiempo.





cia reconocer que las leyes generales de la conservación de la energía y el principio de mínima acción describen el curso de los procesos naturales en términos de energía, y no mediante las fuerzas y sus componentes, que en el cálculo solo aparecen como valores deducidos. Todos los fenómenos se representan a partir del flujo incesante de la energía indestructible del mundo, y las leyes de esta conversión están recogidas completamente en el principio de mínima acción.

Leibniz concibió una física basada en principios de conservación: un punto de vista que no solo representa una formulación propia, sino que, como observa Helmholtz, es la más general posible, pues las trayectorias y fuerzas newtonianas se siguen de dichos principios.

En la actualidad comprendemos plenamente el alcance de su propuesta. Podemos deducir toda la física a partir del principio de mínima acción. En mecánica cuántica, de hecho, este enfoque ha sido mucho más revelador y fructífero que el basado en las ecuaciones de movimiento.

Pierre Louis Moreau de Maupertuis, presidente de la Academia de las Ciencias de Berlín bajo el reinado de Federico II el Grande, enunció el principio de mínima acción como un principio general de la naturaleza. Joseph-Louis Lagrange lo formuló de manera rigurosa. Johann Samuel König atribuyó su autoría a Leibniz, pero no consiguió establecer su prioridad. Los historiadores de la ciencia siguen debatiendo la cuestión. Pero, al margen de esta polémica, podemos constatar que el principio de mínima acción da sentido físico a las ideas que Leibniz vinculaba al postulado de un mundo óptimo. Ello muestra que, tanto en física como en matemáticas, Leibniz fue un científico a la altura de Newton. IyC

PARA SABER MÁS

Gottfried Wilhelm Leibniz: Nachgelassene Schriften physikalischen, mechanischen und technischen Inhalts. Dirigido por Ernst Gerland. Teubner, 1906; reimpresión de Georg Olms, 1995.

Gottfried Wilhelm Leibniz: Obras filosóficas y científicas; vol. 8, Escritos científicos. Dirigido por Juan Arana. Comares, 2009.

Gottfried Wilhelm Leibniz: Sämtliche Schriften und Briefe; Reihe VIII: Naturwissenschaftliche, medizinische und technische Schriften, vol. 2, págs. 1668-1676. Dirigido por Hartmut Hecht et al. DeGruyter, 2016.

Leibniz en Español. Proyecto de edición de la obra de Leibniz en castellano: **www.leibniz.es**

EN NUESTRO ARCHIVO

El arte de editar a Leibniz. Eberhard Knobloch en *IyC*, mayo de 2013.

por Ariadna Martínez Dios y Carlos Dominguez Carrió

Las gorgonias, testigos de los cambios ambientales

Estos organismos, de extraordinaria longevidad, registran en su esqueleto las condiciones químicas del océano Antártico

Bajo las prístinas aguas del océano austral hallamos una sorprendente variedad de organismos. Hasta el día de hoy se han descrito más de 4000 especies y se cree que aún quedan por descubrir otras 1700. Una de las características que comparten muchas de ellas es su extraordinaria longevidad. Las que más viven pertenecen a grupos tan dispares como las esponjas, los equinodermos, los moluscos y las gorgonias. Estas últimas, parientes de los corales, forman densas poblaciones sobre la plataforma continental antártica y pueden alcanzar edades de centenares o más de un millar de años.

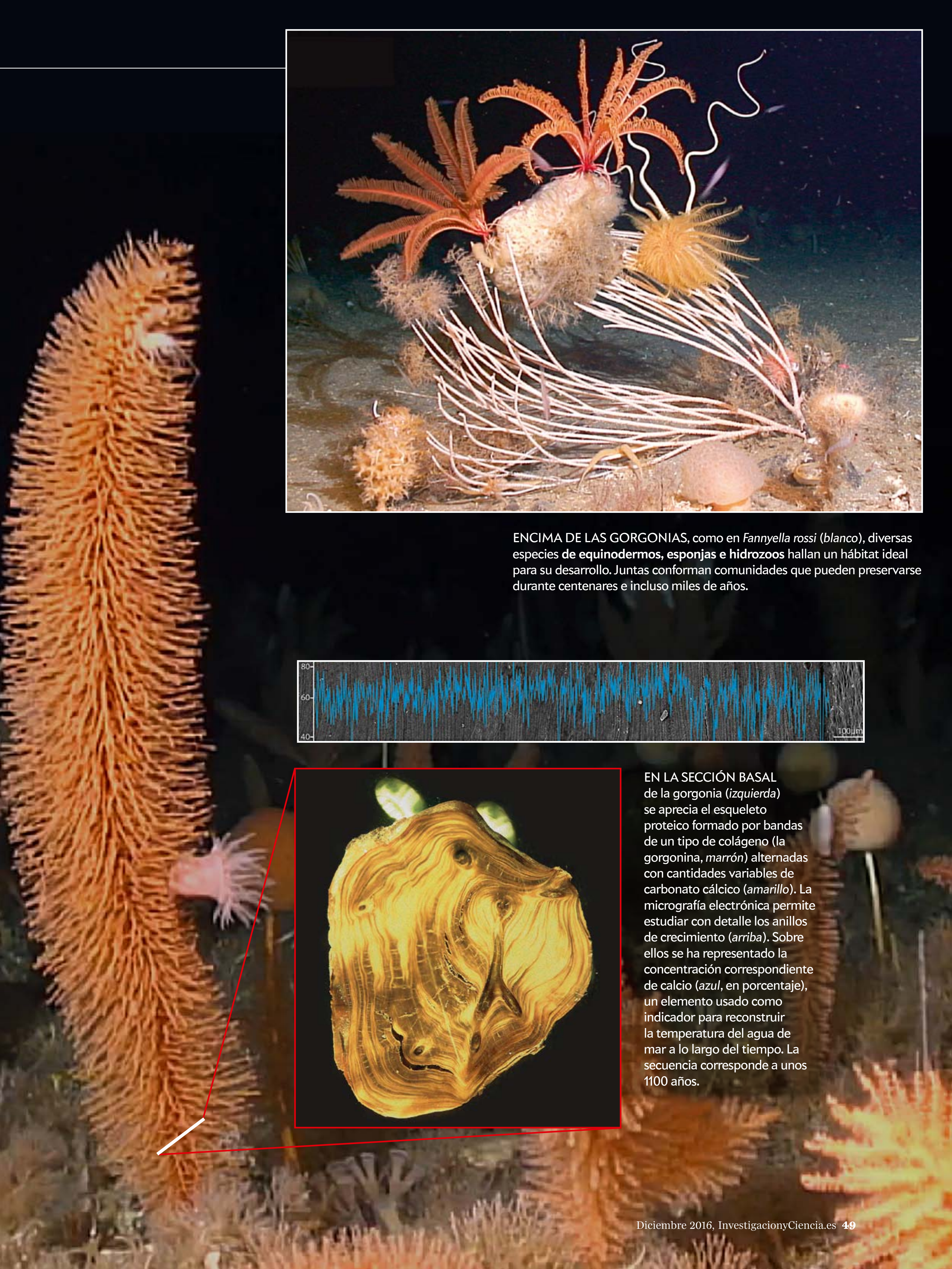
Vivir tanto tiempo es posible gracias a un metabolismo muy lento y a unas condiciones ambientales óptimas (bajas temperaturas, disponibilidad de alimento y ausencia de depredadores directos) durante largos períodos. Ambas circunstancias se combinan en los fondos marinos de la Antártida y proporcionan la estabilidad necesaria para una larga vida.

Las gorgonias, al igual que los árboles terrestres, construyen sus esqueletos mediante la secreción de bandas o anillos de crecimiento, en su caso formados en gran medida por carbonato cálcico. Durante su lento desarrollo, registran en los anillos las características químicas del agua en el momento de su formación. De esta manera, las gorgonias pueden considerarse un diario detallado de la historia natural de nuestros océanos.

El análisis isotópico y de elementos traza de los anillos no solo nos permite averiguar la edad de las colonias o su período de formación, sino también reconstruir con precisión diversos parámetros del agua marina de tiempos pasados, como la temperatura, la salinidad, la productividad o el *p*H, entre otros. Desde un punto de vista ecológico, el estudio de los anillos de crecimiento de las gorgonias nos informa sobre las condiciones ambientales en las que se han desarrollado estos organismos y nos ayuda a comprender hasta qué punto un cambio global del clima puede afectar el desarrollo normal de estas.

—Ariadna Martínez Dios
—Carlos Domínguez Carrió
Instituto de Ciencias del Mar (CSIC), Barcelona

BOSQUE DE GORGONIAS de la especie *Thouarella variabilis* (*naranja*) asociadas a la esponja *Stylocordyla chupachup* (con forma de la golosina), en la plataforma continental antártica.

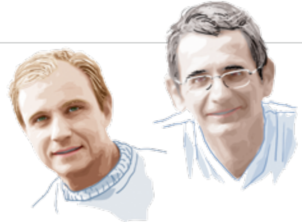


ENCIMA DE LAS GORGONIAS, como en *Fannyella rossi* (*blanco*), diversas especies **de equinodermos, esponjas e hidrozoos** hallan un hábitat ideal para su desarrollo. Juntas conforman comunidades que pueden preservarse durante centenares e incluso miles de años.

EN LA SECCIÓN BASAL de la gorgonia (*izquierda*) se aprecia el esqueleto proteico formado por bandas de un tipo de colágeno (la gorgonina, *marrón*) alternadas con cantidades variables de carbonato cálcico (*amarillo*). La micrografía electrónica permite estudiar con detalle los anillos de crecimiento (*arriba*). Sobre ellos se ha representado la concentración correspondiente de calcio (*azul*, en porcentaje), un elemento usado como indicador para reconstruir la temperatura del agua de mar a lo largo del tiempo. La secuencia corresponde a unos 1100 años.

por Jean-Marc Ginoux y Christian Gérini

Jean-Marc Ginoux es profesor de matemáticas y de historia de la ciencia en la Universidad de Toulon. **Christian Gérini** es profesor de historia y filosofía de la ciencia y de la técnica en la misma universidad y miembro del grupo de historia y difusión de la ciencia de Orsay.



Einstein y la prensa: una relación tumultuosa

En 1919, Einstein deviene una celebridad. Su figura atrae a los medios de comunicación, en especial al *New York Times*. El físico descubrirá pronto el poder que tienen, así como los peligros que plantean

El 2 de diciembre de 1919, Albert Einstein concedió una de sus primeras entrevistas al *New York Times*. Apenas un mes antes, el 6 de noviembre, el astrónomo británico Frank Dyson había presentado los resultados de dos expediciones que, durante el eclipse del 29 de mayo del mismo año, habían medido la desviación de la luz de una estrella por el Sol. Los resultados confirmaban una de las tres predicciones de la teoría de la relatividad general, enunciada por Einstein en 1915. La prensa difundió inmediatamente la noticia convirtiendo a Einstein, de la noche a la mañana, en una celebridad sin precedentes.

«La teoría de Einstein triunfa», anunciaba en titulares el *New York Times* del 10 de noviembre. El diario precisaba que el alcance de la victoria no estaba claro porque, como admitía el propio físico alemán, solo una docena de sabios en todo el mundo entendían su teoría. Tres semanas después, en la entrevista del 2 de diciembre, Einstein se mostraba más didáctico y explicaba que sus ideas cristalizaron tras ser testigo de un trágico accidente: «Einstein expone su nueva teoría. Espacio y tiempo no tienen un carácter absoluto, sino relativo a un sistema en movimiento. [...] Como Newton, se inspiró en una caída, pero no la de una manzana, sino la de un hombre de un tejado».

El artículo continuaba: «Años atrás, por la ventana de su biblioteca, Einstein vió despeñarse a un hombre de un tejado. El hombre contó después que durante la caída no había experimentado la sensación que normalmente asociamos a la gravedad, la cual, según la teoría de Newton, le habría atraído violentamente hacia el suelo». La anécdota, impactante, acentuaba el contraste entre la complejidad de una teoría accesible solo para unos pocos iniciados y la banalidad de una observación al alcance de cualquiera —pese a que nadie la había interpretado como Einstein.

Esa jugada maestra fue el debut de una relación ambigua, compleja y tumultuosa con el *New York Times*. Einstein iba a descubrir, a su pesar, que la comunicación mediática no se limitaba a la publicación de imágenes atractivas. Así lo indica el estudio de los miles de artículos que el rotativo dedicó tanto a sus hallazgos científicos como a sus apariciones públicas o declaraciones políticas.

Las primeras dificultades aparecieron en el verano de 1921. Entre el 2 de abril y el 30 de mayo, Einstein acompañó a Chaim Weizmann, presidente de la Organización Sionista Mundial, en una gira por los EE.UU. destinada a recaudar fondos para la creación de una universidad hebrea en Jerusalén. De vuelta a Berlín, el 1 de julio, Einstein pronunció una conferencia sobre su viaje invitado por el presidente de la Cruz Roja alemana. Cuál no sería su sorpresa al leer, en el *New York Times* del día siguiente, el titular: «El Dr. Einstein cree que América es antialemana». El artículo aseguraba que «el Dr. Albert Einstein ha declarado que América le había parecido violentamente antialemana [...] e Inglaterra vivamente proalemana».

En realidad, esas afirmaciones distorsionaban el discurso de Einstein, explicado más a fondo en el propio artículo [*véase la imagen de la página 52*]. El físico había descubierto que cualquier declaración de un personaje célebre podía manipularse con tal de conseguir un buen titular.

Einstein y los «perros falderos»

El problema no había hecho más que empezar. La misma semana, el 7 de julio de 1921, Cyril Brown, corresponsal del *New York Times* en Berlín, le preguntó a Einstein qué pensaba de la vida en los Estados Unidos. La respuesta apareció bajo el titular: «Según Einstein, las mujeres mandan en este país. El científico considera que los hombres son sus mascotas. El entusiasmo que su figura despierta en América responde al hecho de que la gente se aburre mucho». Einstein habría dicho literalmente: «Los hombres no se interesan por nada. Trabajan sin cesar... Por lo demás, son los perros falderos [*toy dogs*] de sus mujeres, que gastan dinero sin medida y llevan una vida extravagante. Siguen la moda al pie de la letra y ahora siguen por azar la moda Einstein».

El artículo suscitó fuertes reacciones en los EE.UU. Al día siguiente, el *New York Times* insistía sobre la cuestión: «Las mujeres de Chicago no comparten las opiniones de Einstein». Estos incidentes, debidos a la inexperiencia del físico con la prensa, dañaron irreversiblemente su imagen ante un sector de la opinión pública estadounidense que no dejaría de recordarle la expresión «perros falderos de las mujeres», por ejemplo cuando solicitó un visado en 1932.

Tras ese desencuentro, Einstein adoptó una actitud más circunspecta ante las solicitudes de entrevistas. Los periodis-

tas, ávidos de información, tuvieron que contentarse con anécdotas espigadas de gente que se había cruzado con él, como el conductor de tranvía berlinés que en 1924 afirmó que a Einstein se le daba mal la aritmética porque no había pagado con las monedas correctas. Los artículos se centraron en las noticias oficiales, como el estreno de una película de divulgación sobre relatividad, las conferencias de Einstein en el parisiense Colegio de Francia en 1922, su ingreso en el Comité de Cooperación Intelectual de la Sociedad de la Liga de Naciones o el anuncio de su premio Nobel, en noviembre de 1922, por «el descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico».

En 1930, alentado por los artículos laudatorios publicados con motivo del 25.º aniversario de la publicación de la teoría de la relatividad especial, Einstein venció sus recelos y aceptó la invitación del *New York Times* para opinar sobre religión y ciencia. El artículo, publicado el 9 de noviembre de 1930, indignó a la opinión pública estadounidense más puritana.

Einstein daba cuenta de «los sentimientos y necesidades que han llevado a la humanidad al pensamiento religioso y a la fe». El primero era el miedo, seguido por «los sentimientos sociales», es decir, «el deseo de consejo, amor y apoyo que lleva a la formación de una concepción social o moral de Dios». Estas necesidades habían originado las diversas religiones. Pero los «individuos excepcionales y las comunidades más nobles» aspiraban a otra forma de sentimiento religioso: «Hallamos entre ellos un tercer nivel de la experiencia religiosa, aunque raramente en forma pura. Lo llamaré el sentimiento religioso cósmico. [...] El individuo siente la futilidad de los deseos y las ambiciones humanas, a la vez que percibe el orden sublime y maravilloso de la naturaleza y el mundo de la mente. Aprisionado por la existencia individual, aspira a sentir el universo como un todo único y significativo. [...] Este sentimiento religioso no conoce el dogma ni concibe a Dios a la imagen del hombre. [...] Creo que la función más importante del arte y de la ciencia es despertar y nutrir este sentimiento entre aquellos que son receptivos a él. [...] Este sentimiento es el más poderoso y noble motivo de la investigación científica».

El artículo suscitó vivas reacciones de las comunidades religiosas y muchísima correspondencia de los lectores. Uno de ellos, el reverendo Fulton Sheen, aconsejó a Einstein suprimir la letra *s* de *cósmico*, al considerar que su concepción de la religión reflejaba «pura estupidez y banalidad».



EL PÚBLICO de la ciudad de Nueva York da una calurosa bienvenida a Einstein durante su primera visita a los Estados Unidos en 1921.

Cabría esperar de Einstein que con la edad fuera más prudente y reservado a la hora de expresar sus opiniones. Sin embargo, hasta el final de su vida no dejó de decir lo que pensaba, aunque le costara el calificativo de expacifista. El 29 de diciembre de 1941, tres semanas después del ataque sorpresa a Pearl Harbour, manifestó que las democracias vencerían a las potencias totalitarias si eran capaces de golpear duro. ¿Por qué opinaba tanto y tan al margen de las contingencias sociales, religiosas o políticas? ¿No sabía cómo resistirse al virus mediático? ¿O es que tal vez tenía cierto interés por él? Lejos de ser una persona manipulada por los periodistas, el físico había aprendido a servirse de ellos para sus propios fines de comunicación científica.

El efecto anuncio

Todo había empezado el 22 de marzo de 1923, al recibir a un corresponsal del *New York Times* en Berlín para comunicarle sus últimas investigaciones y anunciar nada menos que «un descubrimiento que causará aún más sensación que la teoría de la relatividad».

Cinco días después, sin signos de rencor, Einstein confió a Cyril Brown, el autor del artículo sobre los «perros falderos», detalles sobre su nueva teoría del campo unificado: «Puedo resumir de qué trata en una frase: la relación entre la electricidad y la gravitación. [...] Es una teoría puramente matemática que no puede ser explicada al profano».

Era un manera inteligente de utilizar a su favor el poder del diario y jugar con el efecto anuncio de una teoría misteriosa (demasiado complicada para ser comprendida), a la vez que subía la apuesta (más importante que la relatividad general). Pero este campo de investigación iba a estancarse enseguida, y Einstein consagraría en vano el resto de su vida a la teoría del campo unificado. Hasta 1933 informó periódicamente de sus progresos. Pero dejó de hacerlo en el momento en que sus tentativas se revelaron infructuosas. Cuando, en 1949, el *New*

York Times publicó un artículo titulado: «La nueva teoría de Einstein es la llave maestra del universo», Einstein rechazó a los periodistas y pidió a su secretaria Helen Dukas que les transmitiera el siguiente mensaje: «Vuelvan a verme en veinte años».

Otro ejemplo de efecto anuncio controlado es el cambio radical de su visión cosmológica, que dio en primicia a la prensa en 1931. El *New York Times* presentó, día tras día, las distintas fases del giro. La serie empezó en enero de 1931 con la visita de Einstein al Instituto de Tecnología de California a fin de contrastar su hipótesis cosmológica, basada en la teoría de la relatividad general, que postulaba un espacio homogéneo, curvo y estático. Las observaciones realizadas por los astrónomos estadounidenses Edwin Hubble y Milton Humason en Monte Wilson, dos años antes, cuestionaban que el universo fuera estático. La luz de nebulosas distantes mostraba un desplazamiento al rojo proporcional a su distancia a la Tierra, expresado mediante la ley de Hubble, que el *New York Times* del 31 de diciembre de 1930 describió así: «Las nebulosas se alejan de nosotros a una velocidad que aumenta con su distancia a la Tierra». El 3 de enero apareció el primer anuncio de Einstein en una entrevista al periódico: «Las observaciones de Hubble y Humason [...] permiten suponer que la estructura general del universo no es estática».

El 6 de febrero, el físico Leigh Page confió al diario que «los trabajos realizados en la Costa Oeste y las observaciones de Monte Wilson han convencido al Dr. Einstein de que la idea de un universo estático no es sostenible». Dos días después, el periódico anunció que la visión cosmológica de Einstein había dado un vuelco: «Tras visitar el observatorio y después de que un veterano de 42 años de la Fuerza Expedicionaria Americana [Hubble] le haya mostrado fotografías de objetos que se encuentran a una distancia de la Tierra más inconcebible aún que sus fórmulas matemáticas, el profesor Einstein declaró el miércoles que abandonaba su concepción inicial del universo».

Ignorando la tradición académica, Einstein esperó al 11 de febrero para exponer sus ideas y discutir con un grupo de físicos y astrónomos las implicaciones del corrimiento al rojo de la luz de las nebulosas. El 26 de junio, de regreso a Berlín, presentó en una conferencia universitaria su nueva concepción cosmológica de un universo dinámico en expansión, que se contraerá más allá de cierto límite.

¿Por qué avanzó Einstein sus ideas a la prensa? ¿Buscaba el eco mediático o se trataba simplemente de una voluntad de transparencia en torno a lo que consideraba una verdad científica? No es fácil responder a esta cuestión, pero no hay duda de que quería controlar el juego, como muestra su reacción airada a la filtración orquestrada de la publicación de la paradoja EPR, tres años después.

Podolsky no hubiera debido

Aun habiendo contribuido a la creación de la teoría cuántica en las primeras décadas del siglo xx, Einstein no dejó de intentar demostrar, mediante sus célebres experimentos mentales, que la teoría era incompleta. Rechazaba su interpretación probabilística, que implicaba la renuncia al determinismo sobre el que se había fundamentado la física hasta entonces. Junto a sus colegas Boris Podolsky y Nathan Rosen, el 15 de mayo de 1935 publicó en una revista especializada el artículo «¿Puede considerarse completa la descripción mecánico-cuántica de la realidad física?», que haría correr mucha tinta bajo la denominación de la paradoja EPR. Sin embargo, dos semanas antes de la publicación oficial, Podolsky había revelado su contenido al *New York Times*, que lo presentó como «Einstein ataca la teoría cuántica».

La filtración cogió a Einstein por sorpresa. Contrariado por la actitud de Podolsky, escribió inmediatamente al *New York Times* desautorizándole: «Einstein hace una declaración. Afirma no haber autorizado el artículo sobre la teoría de los cuantos». En la declaración, ocurrente como siempre, precisaba que tenía por costumbre discutir sobre ciencia en los lugares apropiados y que no aprobaba el anuncio previo de una publicación en la prensa generalista.

Este agitado episodio de las relaciones entre el *New York Times* y el padre de la relatividad no puso punto final a ellas, como hemos visto. El periódico, que contribuyó en buena medida a hacer de Einstein una leyenda, supo usar y abusar de la figura emblemática que había creado para mantener, año tras año, el interés de sus lectores.

DR. EINSTEIN FOUND AMERICA ANTI-GERMAN

Violently So, He Says, Though He Noted That a Reaction Was Setting In.

Copyright, 1921, by The New York Times Company.
Special Cable to THE NEW YORK TIMES.

BERLIN, July 1.—Dr. Albert Einstein says he found America violently anti-German, although with evidences of a change of heart taking place, and England eagerly pro-German. These discoveries in relativity he imparted today to a select party at the home of Herr von Winterfeldt, President of the German Red Cross, whose guest of honor Dr. Einstein has been since his return from America and England.

Dr. Einstein told the guests, among whom were President Ebert and the members of his Cabinet, the members of the Prussian Government, the Chief Burgomaster of Berlin and leaders in the business and industrial world.

"In America there undeniably predominated a markedly unfriendly feeling toward everything German. American public opinion was so excited that even the use of the German language was suppressed. At present a noticeable change is taking place. I was received heartily by America's learned men and learned corporations. They gladly spoke German, and everywhere were mindful with genuine sympathy of the German scientists and institutes with which they maintained so close a friendship before the war.

"In England the impression forced itself upon me that English statesmen and scholars had it in mind again to bring about friendly relations with Germany. The heartiness of the speeches in England could hardly be surpassed. Better times appear to be coming."

The New York Times

«EL DR. EINSTEIN cree que América es antialemana», rezaba un titular del *New York Times* del 2 de julio de 1921. Aunque, dentro del artículo, el físico precisaba que «se estaba produciendo un cambio notable» y que había sido «recibido calurosamente por los hombres de ciencia», sus opiniones causaron revuelo en los Estados Unidos.

PARA SABER MÁS

El Señor es sutil. La ciencia y la vida de Albert Einstein. Abraham Pais. Ariel, 1984.

Einstein i la premsa. Xavier Roqué en *Mètode*, n.º 48, 2005.

Albert meets America. Dirigido por József Illy. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2006.

Albert Einstein: Une biographie à travers le temps. Jean-Marc Ginoux. Hermann, 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

Manipulación de la ciencia. Carsten Könneker en *MyC* n.º 12, 2005.

Einstein. Silvio Berglia en *Temas* de *IyC* n.º 40, 2005.

100 años de relatividad general. VV.AA. Número monográfico de *IyC*, noviembre de 2015.

por Gérald Bronner



Gérald Bronner es profesor de sociología en la Universidad París-Diderot.

¿Influye el tamaño de la escuela en los resultados académicos?

Algunas estadísticas pueden dar la impresión de que los centros pequeños son más eficaces que los grandes

A la hora de escolarizar a los niños, muchos se preguntan: ¿se aprende mejor en los colegios pequeños que en los grandes? A bote pronto pensaríamos que sí. Pensamos que los niños se sentirán más seguros y atendidos en un lugar lo suficientemente reducido como para que resulte amigable y familiar; cabe suponer así que el aprendizaje y los resultados que obtengan serán notablemente mejores. Esta impresión podría confirmarse al realizar encuestas sobre el éxito académico de distintas escuelas y consolidar un punto de vista... erróneo.

En la primera década del siglo xxi, la Fundación Bill y Melinda Gates se interesó mucho por las cuestiones educativas. En particular, deseaba entender qué hace que una escuela obtenga mejores índices de éxito entre sus estudiantes que otra. Para hallar la respuesta invirtió 1700 millones de dólares en investigaciones.

En los estudios realizados, uno de los resultados que más llamó la atención fue que, entre las escuelas con mayores índices de éxito, las pequeñas estaban sobrerrepresentadas. Así, de las 1662 instituciones analizadas en el estado de Pensilvania, 6 de las 50 mejores escuelas eran de tamaño reducido, el 12 por ciento; en cambio, la proporción de escuelas pequeñas sobre el total del estado era solo del 3 por ciento.

Esos hallazgos incitaron a la Fundación Gates y otras instituciones a invertir dinero para reducir el tamaño de los centros escolares. ¿Fue una buena idea? No ciertamente, porque el análisis de este resultado estaba contaminado por una inoportuna ilusión mental denominada por los expertos sesgo de representatividad. Se trata de la dificultad que tenemos de evaluar la representatividad de una muestra.

Para entender mejor ese obstáculo, veamos un problema que plantearon los célebres psicólogos Amos Tversky y Daniel Kahneman a una serie de personas hacia 1970. Una ciudad cuenta con dos hospitales de maternidad: uno grande, donde en promedio nacen todos los días 45 bebés, y otro pequeño, donde nacen 15. Por supuesto, el 50 por ciento (o casi) de los bebés son varones. Sin embargo, día a día, estas proporciones no se repiten estrictamente. Cada maternidad toma nota de los días en que tiene más de un 60 por ciento de nacimientos masculinos. ¿Cuál de las dos tendrá, después de un año, el récord de días con más de un 60 por ciento de varones? ¿La grande, la pequeña o no habrá diferencias?

Sobre esta cuestión, el 56 por ciento de los encuestados consideró que no habría diferencias al respecto entre los dos hospitales. Sin embargo, la respuesta correcta, que solo proporcionaron el 20 por ciento, era «la maternidad de pequeño tamaño». En efecto, cuanto más extensa sea la muestra (el caso del hospital de maternidad grande), mayores son las posibilidades de acercarnos a la paridad (50 por ciento de niñas y 50 por ciento de niños); pero cuanto más reducida sea, más posibilidades tenemos de hallar diferencias notables. En otras palabras, en la maternidad pequeña es donde esperamos que haya más días con más de un 60 por ciento de nacimientos masculinos y, al mismo tiempo, donde también esperamos que haya más días con más de un 60 por ciento de nacimientos femeninos.



LOS DATOS ESTADÍSTICOS interpretados de manera poco cuidadosa pueden dar la impresión de que las escuelas pequeñas obtienen mejores resultados.

Del mismo modo, con respecto a la evaluación del rendimiento escolar en relación con el tamaño del centro, es cierto que las pequeñas escuelas están sobrerrepresentadas entre los equipos más eficaces. ¡Pero también lo estarán entre los equipos menos exitosos!

Fue exactamente lo que descubrieron los estadísticos cuando analizaron los resultados del estudio de la Fundación Gates. La relación que se había creído encontrar entre el tamaño de las instalaciones y el éxito pedagógico no tenía mucho sentido. El hecho de que la muestra sea reducida hace que haya más posibilidades de alejarse de la media, tanto para bien como para mal. Se trata de uno de los numerosos ejemplos en los que las ilusiones mentales se hibridan con ideas narrativas que nos atraen («Lo pequeño es hermoso»), pero que no siempre son ciertas.

LOS INTERMEDIARIOS DE LA INFORMACIÓN

En su camino hacia el público general, el conocimiento cosechado por los investigadores pasa por varios intermediarios (el **Gobierno**, los **medios** y las **instituciones científicas**) que persiguen sus propios fines.

EN ESTE INFORME ESPECIAL, sacamos a luz una insidiosa y establecida forma de manipular las noticias que practican algunas instituciones públicas; reflexionamos sobre los factores que menoscaban la calidad del periodismo científico actual; analizamos la desconexión que existe entre lo que los investigadores hacen y aquello de lo que la gente oye hablar, y denunciamos una cultura del silencio que desanima a los científicos a desarrollar una labor divulgativa. —*LA REDACCIÓN*

EN SÍNTESIS

Las agencias federales de EE.UU. recurren al embargo reservado y a otros métodos para hacerse con el control de los periodistas que hablan de ellas [*véase* «El control sobre el periodismo científico», pág. 58].

El periodismo científico está perdiendo independencia, en manos de la maquinaria propagandística de las instituciones y las crisis que ahogan el sector [*véase* «Ciencia y medios: ¿círculo vicioso o virtuoso?», pág. 66].

Al comparar los datos sobre las instituciones que producen la mejor ciencia con los estudios de los que más habla la prensa, se descubre una gran diferencia [*véase* «¿Qué hallazgos despiertan mayor interés mediático?», pág. 74].

Los investigadores que se dedican a la divulgación siempre han sufrido el rechazo de la Academia. La situación podría estar cambiando gracias a los medios sociales [*véase* «Las cuitas del científico divulgador», pág. 76].

SÉBASTIEN THIBAULT


FDA

Charles Seife es profesor de periodismo en la Universidad de Nueva York y autor de *Virtual unreality: The new era of digital deception* (Penguin Books, 2014).



POLÍTICA

EL CONTROL SOBRE EL PERIODISMO CIENTÍFICO

La Agencia Federal de Fármacos y Alimentos estadounidense ha estado presionando a los medios para que renuncien a su independencia. Otras instituciones siguen el mismo camino

Charles Seife

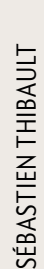
Fue un pacto fáustico y que hizo revolverse a los redactores de la Radio Pública Nacional (NPR) estadounidense. El trato era el siguiente: junto con un selecto grupo de medios, la NPR quedaba invitada a una rueda de prensa en la que la Agencia Federal de Fármacos y Alimentos (FDA) les anunciaría algo importante un día antes que al resto; a cambio, la FDA dictaría a quién podía entrevistar el periodista de la NPR y a quién no.

«Mis directores se sienten incómodos con la exigencia de no buscar reacciones», replicó Rob Stein, de la NPR, a los empleados del Gobierno que le ofrecían el trato. Stein pidió un poco de margen para hacer algo de periodismo independiente, pero su propuesta fue rechazada de plano: o lo tomaba o lo dejaba.

La NPR aceptó. «Estaré en la rueda de prensa», escribió Stein. Más tarde, ese mismo día de abril de 2014, se presentó en un edificio del Gobierno federal junto con otros periodistas de más de una docena de medios de primera fila, entre ellos la CBS, la NBC, la CNN, el *Washington Post*, el *Wall Street Journal* y el *New York Times*. Cada uno de los presentes había aceptado no hacer preguntas a fuentes no autorizadas por el Gobierno hasta tener el visto bueno para ello.

«Creo que los embargos que intentan controlar las fuentes a las que se puede consultar son peligrosos porque limitan el papel del informador, cuyo trabajo consiste en prestar atención a todos los aspectos de un tema», opina Margaret Sullivan, antigua defensora del lector del *New York Times*. «Es realmente inapropiado que una fuente le diga a un reportero con quién puede hablar y con quién no.» Ivan Oransky, del Instituto de Periodismo de la Universidad de Nueva York y fundador del blog *Embargo Watch,* es del mismo parecer: «Creo que está profundamente mal».

Ese tipo de trato, conocido como «embargo reservado» o «confidencial» (*close-hold embargo*), constituye una herramienta cada vez más usada por los organismos científicos y gubernamentales para controlar el comportamiento de la prensa científica. O eso parece. En realidad, es imposible saberlo, ya que casi



todo ocurre entre bastidores. Conocemos la propuesta de la FDA por una frase atravesada que dejó caer una redactora del *New York Times*. Pero, de no ser por esa grieta, nadie ajeno al pequeño grupo de funcionarios gubernamentales y periodistas de confianza se habría enterado de que estos últimos habían renunciado a su independencia.

Los documentos obtenidos por *Scientific American* al amparo de la Ley de Libertad de Información estadounidense describen un panorama turbador de las tácticas empleadas para controlar a la prensa científica. La FDA se ha comprometido a ser transparente, pero los documentos demuestran que, en privado, niega a muchos periodistas el acceso a la información (incluso a algunos de grandes medios, como Fox News) y hasta los engaña con medias verdades para entorpecer sus investigaciones. Al mismo tiempo, la FDA cultiva sus relaciones con una camarilla de reporteros a los que mantiene en su sitio con amenazas, y ha convertido en costumbre dictar con quién pueden hablar hasta que la noticia haya salido al aire, haciendo oídos sordos a las protestas de asociaciones de periodistas y expertos en ética de medios, y contraviniendo incluso sus propias normas.

Mediante los embargos reservados y otros métodos, la FDA y varias fuentes de información científica están controlando cada vez más a unos periodistas que, en principio, tendrían que estar ojo avizor. Los perros guardianes se están convirtiendo en perritos falderos. «La prensa ha cedido el poder a las grandes instituciones científicas», apunta Vincent Kiernan, periodista científico y decano de la Universidad George Mason. «Creo que es interesante y un tanto inexplicable, dado que por lo general los periodistas son gente reacia a ceder poder.»

La prensa ya es propensa a acabar manipulada debido a una costumbre que viene de lejos: el embargo, un acuerdo de trastienda entre los periodistas y las personas sobre quienes estos informan. El trato consiste en que una fuente ofrece información anticipada al periodista, a condición de que no la publique antes de una fecha y hora acordadas.

Resulta sorprendente la cantidad de noticias sobre ciencia y salud que nacen sometidas a embargo. La mayoría de las principales revistas científicas ofrecen a la prensa copias por adelantado de sus próximos artículos, así como el contacto de los autores, a cambio de que los medios acepten no publicar nada hasta que expire el embargo (el cual suele vencer el día en que se publica el artículo técnico). Los embargos marcan el ritmo semanal de la información científica: los lunes por la tarde aparecen de manera simultánea varias noticias sobre resultados publicados en *PNAS*; los martes es el turno del *Journal of the American Medical Association*; los miércoles, de *Nature* y el *New England Journal of Medicine*; y los jueves, el de *Science*.

Hay otras instituciones que han optado por el mismo sistema, así como varias organizaciones gubernamentales sobre las que informan los periodistas especializados en ciencia y salud. Los embargos son la razón por la que tantas noticias sobre los Laboratorios Nacionales, los Institutos Nacionales de Salud y otros centros estadounidenses tienden a salir justo al mismo tiempo.

Los periodistas científicos comenzaron a trabajar con embargos en los años veinte del siglo pasado, en parte porque eso les quitaba presión: cuando todos aceptan publicar sus artículos al mismo tiempo, el informador puede dedicar más tiempo a investigar sobre la noticia sin miedo a que nadie se le adelante. «[Los embargos] se crearon a petición de los periodistas», asegura Kiernan, autor del libro *Embargoed science*, donde analiza la cuestión. «A los científicos hubo que convencerles para que lo aceptasen.» Pero las instituciones científicas se percataron pronto de que eso les permitía manipular los tiempos —y, en menor medida, la naturaleza— de la información que ofrecía la prensa. El resultado es un sistema en el que las instituciones controlan cada vez más a los periodistas. «Consiguieron hacerse con la voz cantante en esta relación, y la prensa no la ha recuperado nunca», expone Kiernan.

El embargo es una costumbre tan bien establecida en el periodismo científico que pocos informadores se quejan de sus oscuras consecuencias o ni siquiera piensan en ellas; al menos, hasta que sienten que es a ellos a quienes se les ha faltado al respeto. El pasado mes de enero, el Instituto de Tecnología de California (Caltech) tenía una verdadera noticia: sus investigadores habían hallado indicios de la existencia de un nuevo planeta gigante en los confines del sistema solar, el Planeta Nueve. La oficina de prensa del Caltech decidió que solo adelantaría la información a una docena de periodistas; entre ellos, Michael Lemonick, de *Scientific American*. Cuando la noticia salió a luz, los demás medios tuvieron que pelearse por las migajas. «Salvo a esos doce elegidos, a quienes tenían un cierre de redacción encima se les negó la oportunidad de hablar con los investigadores, obtener puntos de vista independientes o disponer de tiempo para digerir el artículo técnico», se quejaba Pallab Ghosh, informador de la BBC, en una carta abierta a la Federación Mundial de Periodistas Científicos donde denunciaba el «inapropiado» favoritismo del Caltech.

Al ser preguntada por la cuestión, Farnaz Khadem, jefa de comunicación del Caltech, declaró que su compromiso era ser «justa y transparente» en cómo y cuándo se compartían las noticias con los periodistas. Pero a continuación se negó a hablar sobre el incidente del Planeta Nueve o sobre los embargos y la estrategia de prensa, y no dio el contacto de nadie del Caltech que pudiera comentar el asunto. Como consecuencia, resulta difícil saber con certeza por qué el Caltech se limitó a informar a un selecto grupo de profesionales. Pero no cuesta adivinar por qué se excluyó a periodistas como Gosh. «No es que no fuesen lo suficientemente buenos o que no gustasen», conjetura Kiernan. «Hubo ahí un verdadero empeño por controlar

Mediante los embargos reservados, la FDA y otras instituciones están controlando cada vez más a la prensa

las cosas, cerciorándose de que la élite de la élite cubría la noticia y que lo hacía de una forma que, en adelante, marcaría la pauta a los demás. Fue claramente un esfuerzo por asegurarse el control.»

El Caltech no es la única institución que encauza la manera en que se cubrirá la información que le concierne comunicándosela por adelantado a un grupo reducido de periodistas. (Mientras escribía este artículo, recibí una nota del gabinete de prensa de la Fuerza Aérea de EE.UU. en la que se nos ofrecía la proyección previa de un vídeo «a un selecto número de publicaciones digitales».) Durante años, la FDA ha mantenido trato con un pequeño conjunto de informadores a quienes confía la primicia de ciertos acontecimientos, excluyendo a otros. Pero no fue ese favoritismo lo que, en enero de 2011, desencadenó una pequeña tormenta entre periodistas. Fue la aparición del embargo reservado.

Al igual que el embargo ordinario, el reservado permite acceder previamente a la información bajo la promesa de que esta no verá la luz antes de la fecha y hora acordadas. En este caso, se trataba de una serie de regulaciones sobre dispositivos médicos que estaban a punto de publicarse. Pero había una condición adicional: a los periodistas se les prohibía expresamente consultar a terceros antes de que expirase el embargo.

Ni los reporteros que habían tratado con la FDA durante años podían creérselo. Cuando uno de ellos preguntó si de verdad estaba prohibido hablar con fuentes externas, Karen Riley, de la FDA, se lo dejó bien claro: «Ni que decir tiene que el embargo significa que NO PUEDES ir haciendo llamadas para conseguir comentarios antes de las 13:00», contestó por correo electrónico.

«En realidad, sí hay algo que decir, puesto que se trata de una nueva modalidad de embargo», escribió Oransky en *Embargo Watch*. Sin la posibilidad de contactar con fuentes independientes, argumentaba, los periodistas se convierten en «taquígrafos». Kiernan expresa un sentimiento parecido: «[Cuando] no puedes verificar la información, no puedes conseguir comentarios sobre ella. Tienes que mantenerla dentro de ese grupo de gente del que te hablaba y no puedes usarla en ninguna otra parte. En una situación así, el reportero se está dejando maniatar de tal forma que, al final, no es más que un taquígrafo».

La Asociación de Periodistas de la Atención a la Salud (AHCJ), de la que soy miembro, presentó públicamente su rechazo al embargo reservado: «Será un gran obstáculo para el buen periodismo. Los informadores que quieran ser competitivos tendrán que aceptar que, en esencia, escribirán solo lo que la FDA quiera contarle al mundo, sin análisis ni comentarios externos».

En un principio, la FDA reculó con rapidez. Tras un encuentro con los dirigentes de la AHCJ, Meghan Scott, por entonces comisaria de asuntos externos de la agencia, escribió: «Con anterioridad a su consulta, la FDA no tenía en vigor una política formal sobre embargos informativos». Según explicó, la agencia estaba diseñando nuevas reglas «para atender mejor a los medios y al público».

La nuevas normas de la FDA, publicadas en línea en junio de 2011, acababan de manera oficial con el embargo reservado: «Un periodista podrá compartir el material embargado proporcionado por la FDA con no periodistas o con terceros para obtener opiniones o declaraciones citables antes de que se levante el embargo, siempre y cuando el informador se asegure de que dichos terceros respetarán el embargo». La investigación previa estaría permitida, al menos en la FDA.

Los periodistas especializados en ciencia y salud suspiraron aliviados. La AHCJ expresó su gratitud a la FDA y el *Embargo Watch* de Oransky felicitó a la agencia por haberse echado atrás: «Por hacer lo correcto, la FDA se ha ganado un puesto en el tablón de honor de *Embargo Watch*. ¡Felicidades!». La FDA había despejado el malentendido y se comprometía a mantener «una cultura de apertura en su interacción con los medios y con el público».

En realidad, no hubo ningún malentendido. El embargo reservado se había convertido en parte integrante de la estrategia de la FDA con los medios y estaba ahí para quedarse, fuese o no la política oficial.

Resulta difícil decir cuándo se ha producido un embargo reservado, ya que se trata de un secreto que ni la institución científica ni los periodistas implicados quieren que se desvele. El público solo oirá hablar de él si uno de ellos lo destapa.

Aunque raros, desde 2011 ha habido algunos casos. En 2012, el biólogo Gilles-Eric Séralini y sus colaboradores publicaron un dudoso artículo —luego retirado y después publicado de nuevo— que supuestamente relacionaba la aparición de cáncer en ratas con la ingesta de alimentos transgénicos. Los inves-

tigadores adelantaron la información a algunos medios bajo embargo reservado, muy probablemente para entorpecer su capacidad de explorar los grandes fallos que contenía el artículo; una situación que el periodista científico Carl Zimmer describió como «una forma ofensiva y corrupta de informar sobre ciencia».

En 2014, la Junta de Seguridad Química de EE.UU. (CSB) remitió a varios periodistas un documento sujeto a embargo reservado. Ante las críticas, el entonces director ejecutivo del organismo, Daniel Horowitz, dijo a *Embargo Watch* que habían empleado ese método pensando que «haría el proceso más ordenado». Más tarde, Horowitz declaró que la CSB prescindiría por completo de dicha estrategia en el futuro. En privado, no obstante, un especialista en relaciones públicas de la CSB señalaba lo siguiente en un mensaje de correo electrónico: «Francamente, me gustaría que tuviésemos más taquígrafos por ahí. Que las agencias del Gobierno intentan controlar el flujo informativo es una vieja historia. Pero la otra cara de esa historia es que, en estos tiempos de escepticismo periodístico, riñas partidistas y peleas burocráticas internas, los organismos gubernamentales que hacen un buen trabajo a menudo tienen dificultades para que este se dé a conocer».

También en 2014, el Centro Smithsoniano de Astrofísica de Harvard (CfA) se valió de un embargo reservado cuando anunció a una docena de periodistas el hallazgo de sutiles indicios de ondas gravitacionales del universo primitivo. «Solo se podía hablar con científicos que ya habían visto los artículos; no queríamos que se compartiesen indebidamente», explica Christine Pulliam, responsable de relaciones con los medios del CfA. Por desgracia, la lista de científicos autorizados proporcionada por el centro incluía solo teóricos, pero ningún experimentador, cuando solo un experto en experimentos podría haber intuido el error que hundió el estudio (la señal observada procedía del polvo cósmico, no de las ondas gravitacionales). «Al final, me sentí como un idiota», reconoce Lemonick, quien, siendo uno de los pocos periodistas escogidos, cubrió la noticia para *Time* —por entonces no pertenecía a la plantilla de *Scientific American*.

La FDA también ha convocado ruedas de prensa sujetas a embargo reservado después de que su normativa se lo prohibiese. Sin una fuente dispuesta a hablar, resulta imposible decir cuándo o por qué empezó la FDA a violar sus propias reglas. Con todo, un documento de enero de 2014 describía así la estrategia de la FDA para divulgar el lanzamiento de una campaña publicitaria sobre salud pública: «[La agencia convocará] una rueda de prensa para informadores selectos, del más alto nivel y con gran influencia en la forma en que los demás medios cubrirán las campañas y en cómo las recibirá la opinión pública. [...] A quienes asistan se les hará saber que hay un embargo reservado estricto, que no permite contactar con nadie ajeno a la FDA para hacer comentarios sobre la campaña».

¿Por qué? El documento da una pista: «La cobertura de la campaña está garantizada; no obstante, queremos estar seguros de que los medios ofrecen información de calidad. [...] La rueda de prensa nos dará una oportunidad de orientar el modo en que se dará la noticia, realizar entrevistas embargadas con los principales medios antes del lanzamiento y darles la oportunidad de preparar una cobertura más profunda».

Se invitó a diez periodistas (del *New York Times*, *Washington Post*, *USA Today*, Associated Press, Reuters, ABC, NBC, CNN y NPR) para darles la noticia digerida. Al día siguiente, el 4 de febrero, todos, excepto el *New York Times*, publicaron algo al respecto. La falta de comentarios independientes sal-



SÉBASTIEN THIBAULT

taba a la vista. Solo la NPR, que emitió unas horas después que los demás, y la CNN, en una actualización del mediodía, se las apañaron para obtener alguna reacción de alguien ajeno a la agencia. La CBS dejó caer una cita fuera de contexto del director de los Centros de Control y Prevención de Enfermedades, seguramente con la esperanza de que nadie se percatase de que era de hacía dos meses. Ningún otro medio pareció haber intentado encontrar a alguien que pudiese criticar la campaña.

El resultado fue un grupo de noticias que, de modo casi uniforme, se atenían a la línea oficial de la FDA, sin un atisbo de duda sobre si la campaña sería tan ineficaz como tantas otras por el estilo. Ningún medio dijo nada acerca del embargo reservado. Desde el punto de vista de la agencia, fue misión cumplida.

La FDA tuvo una tarea mucho más difícil dos meses después, cuando iba a hacer públicas unas nuevas y polémicas regulaciones sobre los cigarrillos electrónicos. Era casi imposible impedir que la noticia se filtrase: días antes de su publicación, en abril de 2014, los rumores cundían. Periodistas de todo EE.UU. lo olieron y comenzaron a mandar mensajes de correo electrónico a la FDA con preguntas sobre las nuevas normas. La artillería de la agencia tuvo que valerse de todo su poder para controlar el flujo de la información.

«He oído rumores de que la FDA publicará el lunes una propuesta de regulación sobre los cigarrillos electrónicos», inquirió el viernes 18 de abril Clara Ritger, por entonces periodista del *National Journal*. «Quería saber si podrían confirmarlo. Si no es exacto, ¿barajan fechas?». Stephanie Yao, en aquellos tiempos encargada de prensa de la FDA, esquivó la pregunta: «La propuesta es aún un borrador y está en fase de revisión. La FDA tiene la política de no compartir borradores de normas con grupos externos».

Empezaba el combate de esgrima: «Gracias por responder con esa declaración. Aunque me consta que la propuesta es un borrador y que está en fase de revisión, para poder planificarme, querría saber cuándo saldrán las regulaciones propuestas», contestó Ritger. «¿Se ha suscrito a las notas de prensa de la FDA? La regulación se publicará en el Registro Federal [análogo al Boletín Oficial del Estado en España]», replicaba el lunes Jenny Haliski, otra responsable de prensa de la agencia. «¡Gracias por contestar! Ya me suscribí», respondió Ritger. «La única pregunta que me quedaba es cuándo se publicarán las regulaciones. Quería saberlo de manera extraoficial para poder planificarme.» Ni siquiera la oferta de no divulgar la información consiguió que la agencia se fuese de la lengua: «La FDA no puede hacer cábalas sobre las fechas», alegó Haliski.

Pero se trataba de una verdad a medias. No había por qué hacer cábalas: Haliski y otros miembros de la oficina de prensa sabían muy bien no solo que la regulación se publicaría el jueves, 24 de abril, sino que el miércoles habría una rueda de prensa sujeta a embargo reservado con unos pocos medios. Era solo que Ritger y el *National Journal* no estaban invitados.

La lista de elegidos había sido confeccionada unos días antes, y, como es usual, solo se convocó a periodistas de confianza: los mismos medios de la campaña publicitaria de febrero y pocos más; entre ellos, el *Wall Street Journal,* el *Boston Globe*, *Los Angeles Times*, Bloomberg News, Politico y el *Congressional Quaterly*. En el mismo momento en que la agencia estaba hablando de la rueda de prensa embargada con algunos de sus informadores seleccionados, a cualquiera que no perteneciese a ese pequeño círculo, como Ritger, se le apartaba del camino. No se llamó ni a Fox News.

Algunos en la oficina de prensa se preguntaron por qué se excluyó a la Fox. «Por cierto, hemos visto que la Fox aún no está en la lista de invitados», le dijo Raquel Ortiz, por entonces miembro de la oficina de prensa de la FDA, a Haliski. «No tengo a ningún informador nacional de la Fox que se haya puesto en contacto conmigo por esta cuestión», respondió Haliski. «Los periodistas invitados a la rueda de prensa tienen que haber cubierto con anterioridad cuestiones relacionadas con las regulaciones del tabaco», continuó. Ortiz entendió que no se trataba de una respuesta sincera: «Pero ellos sí que informan sobre la FDA y el CTP [el Centro de Productos del Tabaco] y publican noticias sobre tabaco». «No tenemos un buen contacto en la Fox», insistió Haliski sin convicción.

No les habría costado encontrar uno si se hubiesen molestado en buscarlo, pero la casualidad quiso que el contacto los encontrase a ellos. A primera ahora de la mañana siguiente, con tiempo de sobra hasta la rueda de prensa, John Roberts, destacado periodista de información nacional de la Fox, se puso en contacto con Haliski: «Me he enterado de que la FDA probablemente publicará su normativa sobre los cigarrillos electrónicos la semana que viene. Me gustaría tener una noticia lista para ese día (ateniéndome a cualquier embargo). ¿Podría ser?», escribió. «Hola, John: ¿Te has suscrito a las notas de prensa de la FDA?» Acceso denegado.

«Me dejó especialmente preocupado porque fui redactor de noticias de salud en *CBS Evening News* durante un par de años y tuve una relación muy buena con la FDA y con todo el mundo allí», explica Roberts, quien se enteró de que lo habían excluido tras ver las noticias publicadas por los demás. «Esa gente me dijo que Fox News no fue invitada debido a “experiencias pasadas” con la cadena.»

Tal y como estaba previsto, la rueda de prensa se celebró al mediodía del miércoles 23 de abril. Todos los allí presentes entendieron los términos del acuerdo: «Como ya hemos avanzado, mientras dure este embargo no podrán hablar con terceros para pedirles que comenten el anuncio. Les ofrecemos la información anticipadamente con esa condición». Pero, a las 14:30, el embargo pareció tambalearse: la FDA se enteró de que un perio-

dista estaba intentando hablar con un miembro del Congreso sobre las nuevas normas. Y aunque la violación del acuerdo no estaba clara (la entrevista estaba programada para después de que el embargo expirase y, en principio, el periodista no había revelado nada esencial antes de tiempo), las reglas sí que se tensaron, lo que enfureció a la FDA. Pasada media hora, Jefferson, de la FDA, mandó a los periodistas un iracundo mensaje de correo electrónico.

«Hemos sido informados de una violación del embargo. [...] El contacto de cualquier tipo con terceras personas no estaba y no está permitido. Todos los participantes aceptaron que así fuera», escribió. «De aquí en adelante no contemplaremos ruedas de prensa embargadas si los periodistas no están dispuestos a atenerse a los términos. [...] Nos tomamos este asunto muy en serio; como consecuencia, cualquiera que viole el acuerdo será excluido de las futuras ruedas de prensa embargadas de la agencia.»

Los desmentidos llovieron. «Como alguien que ha cubierto la información sobre la FDA y el CTP durante años y que siempre ha acatado las reglas, es frustrante que se me meta en el mismo saco que a periodistas que no saben respetar vuestra petición de no contactar con terceros», recalcaba Michael Felberbaum, de Associated Press. «Por supuesto, siempre he defendido que trabajéis más estrechamente con periodistas como yo, que entendemos el área y la cubrimos con regularidad, en vez de con advenedizos.»

Con todo, el secreto se mantuvo. Cuando el embargo expiró y aparecieron las primeras noticias en línea, la FDA no pudo quejarse mucho. La noticia de Felberbaum, por ejemplo, citaba a Margaret Hamburg, por entonces directora de la FDA, y a Mitch Zeller, director del CTP, y a nadie más. Incluso cuando, ese mismo día, Felberbaum la actualizó para incluir algún comentario externo, las adiciones apenas dejaban traslucir lo polémicas que resultaban las nuevas normas. La industria del tabaco no veía con buenos ojos que el Gobierno la regulase aún más, y los activistas antitabaco argumentaban que eran demasiado laxas y que llegaban demasiado tarde. Y, al menos en la pieza de Felberbaum, no se mencionaba que la agencia había intentado regular los cigarrillos electrónicos varios años antes, pero que el Tribunal de Distrito de Columbia había echado atrás la propuesta con severos reproches. Al ser preguntado por su trabajo para Associated Press, Felberbaum —quien desde entonces ha abandonado su puesto de periodista para incorporarse a la oficina de prensa de la FDA— dijo: «No estoy seguro de sentirme cómodo hablando de eso en estos momentos».

Otros medios, como la NPR, introdujeron más matices e hicieron un poco más de trabajo periodístico una vez que el embargo hubo expirado. En una declaración al respecto, la NPR afirmó que aceptar las condiciones de la FDA no había violado sus pautas éticas ni influido «de ninguna manera en el resto de voces o ideas incluidas en la información». A pesar de todo, ni siquiera esas noticias se alejaron mucho del mensaje que la agencia quería dejar claro. Una vez más, la FDA no podía quejarse mucho... salvo por un pequeño detalle.

De todos los medios, el *New York Times* fue el único que mencionó el embargo reservado: «Los miembros de la FDA dieron a los periodistas un bosquejo de las nuevas normas el miércoles, pero exigieron que no hablasen con la industria ni con organizaciones implicadas en la salud pública hasta después de que el documento se publicase oficialmente el jueves». «Sentía que quería ser clara con los lectores», le diría después Sabrina Tavernise, la redactora de la noticia, a Sullivan, la defensora del lector del *New York Times*. «Lo habitual es que en una noticia como esa se incluyan reacciones, pero en este caso no iba a haber ninguna.»

A la FDA no le gustó que se rompiese la *omertà*: «Tengo que decir que, si bien suelo reservarme los comentarios editoriales, me sorprendió un poco el tono de tu artículo y el bofetón al embargo en el periódico. Más aún cuando, tras repasar toda la información dada por unos y por otros, no veo que a nadie más le haya parecido necesario hacerlo, y menos de esa manera», le echó en cara Jefferson a Tavernise por correo electrónico. «Para ser claros, me estoy tomando las cosas personalmente cuando ya sé que no debería, pero creía que teníamos una mejor relación de trabajo. [...] Nunca espero una cobertura totalmente positiva, ya que nuestras políticas son controvertidas y complejas, pero sí al menos un trato más neutral y menos editorializado. En resumen, una lata. Voy a vérmelas con un periodista de la Fox que está cabreado.»

Tavernise se disculpó inmediatamente. «Vaya, perdón por lo del embargo. La dirección preguntó por qué no pudimos hacer averiguaciones, así que me pidieron que añadiese una frase explicándolo», escribió. Tavernise ha declinado hacer comentarios para este artículo. Celia Dugger, una de las editoras que intervino en la confección de la noticia, explicó por correo electrónico: «En cuanto a la decisión de revelar las condiciones del embargo en el artículo, Sabrina y yo hablamos sobre ello y coincidimos en que era mejor hacerlo».

A la FDA no le gustó que se airease el embargo reservado, y la prensa excluida se sintió confusa y enfadada. «En este caso en particular, me chocó y me pareció muy extraño», apunta Roberts, de la Fox. «Era una agencia del Gobierno que estaba eligiendo con quién hablar sobre unas medidas públicas; además, yo tenía una larga relación con la FDA, pero a la nueva administración eso no pareció importarle.»

En *Embargo Watch*, Oransky se quejó una vez más de los intentos de la FDA por convertir a los periodistas en taquígrafos. Sullivan le hizo unas cuantas preguntas incisivas a Jefferson, quien, en palabras de Sullivan, recalcó que la intención de la FDA «no era manipular, sino dar a los periodistas información anticipada sobre el desarrollo

de una noticia compleja». Y, de paso, señaló que Tavernise no había puesto ninguna objeción a los términos del embargo. Pero los daños fueron efímeros. Poco salió de las quejas. Sullivan dijo que le gustaría ver al *New York Times* «cargando —con fuerza— contra esas restricciones en todos los casos y dispuesto a apartarse de la noticia si hacía falta», pero no hay indicios de que haya habido reacciones significativas por parte de nadie.

Ese sistema de dos niveles, los de fuera y los de dentro, en el que se apoya la política de embargos reservados sigue estando en vigor. Varios medios de comunicación importantes, como *Scientific American* y la agencia France Press, se han quejado por escrito ante la FDA de que se les excluya, pero sus demandas no han sido satisfechas. Meses después del asunto de los cigarrillos electrónicos, otra noticia de la FDA, esta vez relativa al etiquetado de alimentos, se dio a conocer por anticipado a un reducido grupo de periodistas. La revista *Time* se lamentó de no tener acceso a una llamada de teléfono que estaba reservada a la prensa escogida. Jennifer Corbett Dooren, por entonces encargada de prensa de la FDA, escribió: «*Time* no fue incluida [...] (ni siquiera estaba en mi radar, para ser sincera), pero respondimos a todas sus preguntas» al día siguiente.

A falta de señales por parte de la agencia, corresponde a cada cual conjeturar si la FDA sigue recurriendo o no al embargo reservado y, si lo hace, con qué frecuencia. Por desgracia, el organismo ha declinado contestar cualquier pregunta. Dado que estoy reclamando a la agencia el acceso a documentos sobre sus políticas de embargo, el gabinete de prensa dijo, en una declaración que no respondía a ninguna cuestión específica, que los nuevos embargos «dan tiempo a los periodistas para que preparen sus artículos sobre materias complejas de un modo informado y veraz», y que el uso que la agencia hace de los embargos se atiene a las directrices y buenas prácticas del Gobierno. La oficina de prensa remitió todas las preguntas a la Oficina del Abogado en Jefe de la FDA, que no ofreció respuesta alguna.

Desde el desliz del *New York Times*, no ha habido ningún periodista que haya reconocido abiertamente estar sometido a tales restricciones. *Scientific American* ha realizado un esfuerzo considerable para contactar con muchos de los informadores que podrían haber aceptado un embargo reservado de la FDA, como Felberbaum, de Associated Press; Tavernise, del *New York Times*; Stein, de NPR, y otros de Reuters, *USA Today* y *Los Angeles Times*. Ninguno ha arrojado la menor luz sobre la cuestión. Algunos se negaron explícitamente a hablar con *Scientific American*; otros no devolvieron el cuestionario; dos no recordaban haber aceptado nunca un embargo reservado, entre ellos, Tom Burton, quien tiene un premio Pulitzer, trabaja para el *Wall Street Journal* y fue el único que estuvo dispuesto a contestar. «No lo recordaba en absoluto. Y, después de que me lo dijeseis, seguía sin recordarlo», explicó. Hasta donde él sabe, añadió, ese tipo de embargo es raro.

No importa cuán raro sea: hay pruebas documentales de que ha ocurrido múltiples veces y, desde 2011, cada una de ellas supone una violación de las normas oficiales de la FDA. Esa política sigue en vigor, al igual que lo estaba cuando se produjo el último. Pero quienes conocen el asunto sostienen que también sigue vigente la política extraoficial de la agencia y, con ella, el favoritismo y los embargos reservados. Parece tratarse de un arreglo demasiado útil para que la FDA lo abandone sin más.

Pese a la dificultad que entraña medir el uso de embargos reservados, Oransky, Kiernan y otros observadores coinciden en que esta práctica —así como otras variantes del embargo empleadas para estrechar el control sobre la prensa— parece ser cada vez más común. También ha aparecido en otros ámbitos periodísticos, como el económico. «Más y más fuentes, incluidas las del Gobierno, pero también las empresariales, están interesadas en controlar el mensaje, y esta es una de las formas en que están intentando hacerlo», afirma Sullivan, del *New York Times*. «Creo que habría que resistirse a ello.»

Pero, por mucha culpa que tengan el Gobierno y otras instituciones, la responsabilidad última recae sobre los periodistas. Un embargo reservado no podría maniatar a nadie sin su consentimiento: bastaría con esperar a que expirase y hablar con fuentes externas, aun a costa de entregar la noticia un poco más tarde.

Oransky lo ve así: «Como periodistas, hemos de hacer un poco de introspección y pensar por qué nos vemos impelidos a publicar algo en cuanto vence el embargo si aún no tenemos la historia completa». Kiernan lamenta que no haya ningún movimiento en el gremio para cambiar las cosas: «No me consta que, en general, los periodistas hayan tomado la perspectiva suficiente para entender hasta qué punto el sistema de embargos está controlando y moldeando su trabajo». IyC

PARA SABER MÁS

The embargo should go. Vincent Kiernan en *Inside Higher Ed*. Publicado en la Red el 21 de agosto de 2006. **www.insidehighered.com/views/2006/08/21/embargo-should-go**
Should reporters have agreed to the vertex embargo? Matthew Herper en *Forbes*. Publicado en la Red el 24 de junio de 2014. **www.forbes.com/sites/matthewherper/2014/06/24/should-reporters-have-agreed-to-the-vertex-embargo/#122ba96b2282**
Blog Embargo Watch: **https://embargowatch.wordpress.com**
Las políticas sobre los medios informativos de la FDA: **www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/NewsEmbargoPolicy/default.htm**

EN NUESTRO ARCHIVO

Ciencia y medios: ¿círculo vicioso o virtuoso? Michele Catanzaro *en este mismo número*.

Michele Catanzaro es doctor en física y periodista independiente para *Nature*, *El Periódico de Catalunya*, *Chemistry World* y *Le Scienze*, entre otros medios. En 2014 obtuvo el Premio Internacional de Periodismo Rey de España y en 2016 el galardón Escritor Científico Europeo del Año.



COMUNICACIÓN

CIENCIA Y MEDIOS: ¿CÍRCULO VICIOSO O VIRTUOSO?

Un bucle de retroacción que puede causar distorsiones o resultar constructivo

Michele Catanzaro

El pasado 27 de junio, el químico José Jaime Barrera Moreno fue acuchillado en la Universidad Nacional Autónoma de México, donde trabajaba. Pocos días después, el asesinato fue reivindicado por Individualidades Tendiendo a lo Salvaje (ITS), un grupo anarco-primitivista que se ha atribuido una cadena de ataques a universidades y centros tecnológicos llevados a cabo en México en la última década. En sus comunicados en Internet, ITS apunta el dedo contra la ciencia, que considera buque insignia de la guerra desencadenada por los humanos contra la naturaleza, a la cual pretenden responder con sus ofensivas.

Esos mensajes citan a autores adscritos al transhumanismo, corriente de pensamiento a la que pertenecen, por ejemplo, el experto en nanotecnología K. Eric Drexler, el informático de Google Raymond Kurzweil o el cofundador de Sun Microsystems Bill Joy. Según los transhumanistas, la ciencia estaría empujando a la humanidad hacia una «singularidad», después de la cual los humanos se liberarían de sus límites naturales, alcanzando objetivos como la vida eterna o la transferencia de la mente a un chip [*véase* «Más que humanos», por Hillary Rosner; Investigación y Ciencia, noviembre de 2016]. Los mismos autores plantean también escenarios distópicos como la destrucción de la naturaleza por parte de nanomáquinas (*grey-goo*) o la subyugación de los humanos por inteligencias artificiales.

Los miembros de ITS parecen haberse tomado en serio esas especulaciones futuristas. Naturalmente, no puede atribuirse a esos textos ni a sus autores ninguna responsabilidad sobre atentados injustificables. Sin embargo, es evidente que la hiperbólica narrativa del transhumanismo sobre la potencia de ciertos avances tecnocientíficos influye en las motivaciones de los violentos. Es más, constituye un marco empleado sistemáticamente por los medios —y por muchos científicos— como una sugestión sobre los posibles beneficios de ciertas investigaciones.

¿Es esa la única manera de atraer la atención del público sobre cuestiones científicas? Para explicar qué es la nanotecnología, por ejemplo, ¿es imprescindible recurrir a la imagen de un enjambre de nanomáquinas omnipotentes? Chris Toumey, antropólogo de la ciencia de la Universidad de Carolina del Sur, presenta una alternativa. Inspirándose en un cuento de ciencia ficción, imagina unos sabios islámicos del futuro debatiendo si sería *halal* (permitido por la religión) o no comer carne de cerdo obtenida sin sacarla del animal, sino construida áto-



INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

mo a átomo a partir de ingredientes inertes. Esta narrativa resulta igual de atractiva que la de los transhumanistas, pero no evoca escenarios catastróficos y, sobre todo, se adhiere mucho más a las problemáticas reales de la nanotecnología. En lugar de angustiarse con el *grey-goo* o ilusionarse con una supuesta inmortalidad, quizás habría que centrarse en asuntos más pedestres, como, por ejemplo, la introducción de nanopartículas de plata en calcetines para que eliminen las bacterias, con el riesgo de que también penetren en las células o se liberen al medio.

Veamos ahora otro ejemplo del modo en que el periodismo científico puede ejercer impactos inesperados, sobre la sociedad y sobre la propia ciencia. En 1998, Andrew Wakefield, médico entonces afiliado al Hospital Royal Free de Londres, publicó un artículo en *The Lancet*, en el cual hallaba una vinculación entre la aplicación de la vacuna triple vírica y la aparición del autismo. La noticia arrasó en los medios. En los cinco años sucesivos, la cobertura por triple vírica en el Reino Unido bajó del 90 al 80 por ciento de los niños.

Entre 2004 y 2011, Brian Deer, periodista científico independiente que entonces trabajaba para *The Sunday Times*, investigó a fondo el trabajo de Wakefield. Según sus pesquisas, el médico había manipulado gravemente los datos, seleccionando e influenciando a los voluntarios del estudio, ocultando ciertas informaciones e inventando otras, etcétera. Además, según Deer, Wakefield tenía un claro conflicto de intereses: asesoraba a un abogado que pretendía encausar a fabricantes de vacunas. La historia acabó con la retractación del artículo en 2010.

Tanto el caso de ITS como el de Wakefield ponen en entredicho la visión ingenua y prevalente de la relación entre ciencia y medios. En el imaginario común, hay una cascada unidireccional de información que baja de lo alto de los laboratorios hasta las redacciones. Según esta concepción, científicos y periodistas viven en mundos separados: los primeros dispensan resultados de forma desinteresada y los segundos los traducen y amplifican. En realidad, la ciencia no se limita a exponer sus hallazgos, sino que emplea una potente maquinaria para bajar a la arena de la comunicación y copar espacios mediáticos. Por otro lado, los medios no son algo externo a la ciencia, sino que influyen profundamente en ella.

EL BUCLE CIENCIA-MEDIOS

Existe un bucle de retroacción entre la ciencia y los medios que merece la pena ser explorado. Quizá la parte más infravalorada de este sea la que va de los medios a la ciencia. Aunque no lo parezca, los primeros influyen en algunos mecanismos fundamentales de la segunda. Algo tan básico como la red de citas entre artículos científicos no está determinado exclusivamente por la bibliografía técnica, sino también por la prensa. Una investigación publicada en 1991 por David P. Phillips, catedrático de sociología de la Universidad de California en San Diego, y sus colaboradores en *New England Journal of Medicine* halló que los trabajos científicos a los cuales el *New York Times* dedicaba un artículo recibían un incremento de citas por parte de otros trabajos científicos del 72,8 por ciento en el año siguiente. No es que el periódico eligiera estudios que de todas formas iban a recibir muchas citas; era justamente el hecho de aparecer en la prensa lo que les proporcionaba ese impacto extra. Para comprobarlo, los autores aprovecharon un período de huelga del periódico durante el cual los redactores seguían produciendo una edición interna que no salía a la calle. Los trabajos reseñados en esa edición «inédita» no recibieron el incremento de citas.

La investigación de Phillips demuestra que es un error imaginar una separación neta entre medios y ciencia. El discurso público sobre la ciencia afecta a la investigación, no solo en las citas, sino también en la distribución de los recursos económicos, en la agenda de prioridades, etcétera. Que Angelina Jolie se haga amputar los senos (para esquivar una propensión hereditaria hacia el cáncer de mama) puede desencadenar cambios en el mundo de la investigación de mayor alcance que la publicación de un artículo en *Nature*.

Fijémonos ahora en la otra parte del bucle, la que va del mundo de la ciencia al de los medios. Para comprenderla, debemos tener en cuenta la complejidad de la maquinaria comunicativa actual. Son pocas las noticias científicas que nacen de una conversación sin mediaciones entre un investigador y un periodista. La relación entre estos dos actores está articulada por un imponente aparato de relaciones públicas, formado por oficinas de prensa, gabinetes de comunicación, unidades de cultura científica, etcétera.

Dado el escaso número de periodistas científicos empleados en los medios y la abundancia de responsables de prensa de universidades y centros de investigación, no es descabellado imaginar que detrás de cada periodista hay algo así como un «equipo de fútbol» de jefes de prensa, dedicados a convencerle de la bondad de las noticias emanadas por sus instituciones.

Una herramienta clave de la maquinaria de comunicación de la ciencia son las notas de prensa embargadas. Los periodistas científicos acreditados pueden solicitar el acceso adelantado a notas de prensa sobre algunos de los contenidos que publicarán las grandes revistas. De esta manera, pueden prepararse para informar tempestivamente sobre los últimos descubrimientos. Sin embargo, deben respetar un embargo: es decir, tienen que mantener la confidencialidad sobre esos contenidos adelantados hasta la fecha establecida por la revista, que suele ser la de publicación oficial.

¿Por qué los periodistas científicos aceptan tan fácilmente las narrativas propagandísticas?

EurekAlert!, una plataforma en Internet perteneciente a la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, gestiona las notas de prensa de las principales revistas (*Science*, *PNAS*, *Cell*, *PLoS*, *The Lancet*, etcétera) menos *Nature*, que dispone de plataforma propia.

La maquinaria de comunicación de la ciencia es extremadamente eficaz configurando lo que se publica en la prensa. Un estudio publicado por Vladimir de Semir y sus colaboradores, del Observatorio de la Comunicación Científica de la Universidad Pompeu Fabra, en 1998 en *Journal of the American Medical Association* detectó que el 84 por ciento de 142 noticias sobre artículos científicos publicadas en 7 periódicos internacionales de referencia se referían a trabajos mencionados en notas de prensa de revistas científicas de referencia. Posiblemente, solo el 16 por ciento restante era harina del costal de los redactores.

Esta práctica comunicativa basada en «recalentar» contenidos proporcionados por otros, en lugar de producir información original, está tan extendida que se ha acuñado un término para describirla: *churnalism,* mezcla de *journalism*, «periodismo», y *to churn*, «remover» (la creación del mismo se atribuye al periodista de la BBC Waseem Zakir).

LOS INCONVENIENTES DE LA PROPAGANDA

No hay nada malo en que instituciones científicas y revistas desempeñen un papel proactivo en la transmisión de información. Al contrario, sin profesionales dedicados a la comunicación y sin una política de transparencia y apertura, muchas informaciones científicas importantes se quedarían detrás de una barrera formada por millares de artículos escritos en un lenguaje inaccesible a los legos. Sin embargo, la comunicación institucional presenta ciertos sesgos sistemáticos.

En *El saqueo de la imaginación* (Debate, 2008), la periodista Irene Lozano ironiza sobre el hecho de que la mayoría de las actuales oficinas de prensa, de comunicación o de relaciones públicas se llamaban hace unas décadas simple y llanamente «oficinas de propaganda». No obstante el cambio de nombre, la vocación ha permanecido en algunas de ellas, incluidas algunas de centros de investigación o revistas científicas.

Una investigación publicada en 2002 en *Journal of the American Medical Association* por Steven Woloshin y Lisa M. Schwartz, del Centro Médico del Departamento de Asuntos de los Veteranos de EE.UU., detectó que tan solo el 23 por ciento de 127 notas de prensa de 9 revistas médicas destacadas advertían de las limitaciones del trabajo reseñado. De las que informaban sobre estudios con financiación industrial, tan solo el 22 por ciento daban cuenta de este hecho, un dato fundamental para interpretar los resultados.

Las notas de prensa plantean también la «paradoja del embargo». El bloqueo de la información empuja a los periodistas a ceñirse a la agenda de las revistas. Además, la confidencialidad dificulta la tarea de consultar a científicos independientes para obtener opiniones críticas. En algunos casos, se ha llegado a usar incluso de forma abusiva, así como se le atribuye a la Agencia Federal de Fármacos y Alimentos estadounidense [*véase* «El control sobre el periodismo científico», por Charles Seife, *en este mismo número*] o al equipo de Gilles-Éric Séralini, de la Universidad de Caen, con su controvertido estudio sobre la toxicidad de los organismos modificados genéticamente.

Las consecuencias de confundir comunicación y propaganda se entienden mejor si miramos casos reales. En 2009, *El País* publicó un reportaje («El dolor como quinto signo vital») que suscitó una oleada de cartas de protesta. En el artículo se alababa un fármaco contra el dolor, que, en realidad, tenía una eficacia muy limitada. Sucesivamente, la defensora del lector, Milagros Pérez Oliva, publicó una tribuna («Avances médicos con intereses ocultos») en la cual explicaba los antecedentes. La autora del reportaje (Mayka Sánchez, colaboradora del periódico) había viajado a un congreso con financiación de los organizadores, el laboratorio Grünenthal. El fármaco que presentaba como revolucionario pertenecía a esa farmacéutica y el titular del reportaje coincidía con un eslogan de la empresa. Sin embargo, en contra de lo establecido por el libro de estilo de *El País*, el reportaje no revelaba ninguna de estas informaciones. Pérez Oliva censuraba a la colaboradora, pero no aclaraba por qué el periódico había aceptado su propuesta y publicado el artículo.

En ocasiones, una actitud propagandística parece infiltrarse en el corazón mismo del trabajo científico. En 2005 y 2006 se publicaron dos artículos sobre una familia de cinco hermanos turcos que caminaban a cuatro patas. La prensa dio la noticia recurriendo a la metáfora del «eslabón perdido», con titulares del tipo «Una familia podría proporcionar claves sobre la evolución» (BBC, marzo de 2006). La evolución no tenía nada

que ver con ese caso, que no era nada más que una forma rara de ataxia cerebelar. Pero la culpa no fue toda de los medios. Los resúmenes de los artículos científicos ya contenían frases engañosas: «los ancestros humanos podrían haber empleado un paso parecido» y «este nuevo síndrome podría usarse como un modelo vivo de la evolución humana». Uno de los autores de los dos artículos protagonizó un documental de una hora en la BBC poco después de la segunda publicación.

¿Qué empuja a los científicos hacia la propaganda? Las razones que transforman la genuina voluntad de divulgar en «vender la moto» son múltiples: el deseo de visibilidad personal, la competencia por la financiación, la ideología, etcétera. Algunos de estos factores desempeñaron un papel importante en la comunicación acerca del Proyecto Genoma Humano, que culminó en 2003. En 1992, el nóbel Walter Gilbert declaró: «Tres mil millones de bases de ADN se pueden almacenar en un CD. Uno podrá sacar un CD del bolsillo y decir: "Aquí hay un ser humano: soy yo"». El editor de *Nature* Henry Gee escribió en 2000: «La genómica [...] nos permitirá cambiar la forma humana de todas las maneras que se nos ocurran. Tendremos extremidades de más si las queremos, quizás incluso alas para volar». En esos años, se produjo un cambio generalizado en la cobertura de los temas de salud en los medios: desde una visión multifactorial de la enfermedad (incluidos factores sociales, ambientales, de estilo de vida, etcétera) a una muy centrada en la genética («el gen de la diabetes», «el gen de la obesidad», etcétera).

En el décimo aniversario de la descodificación del genoma humano, *Nature* publicó un editorial titulado «Lo mejor está por llegar» en el que admitía que «el proyecto genoma humano tuvo una tendencia a fomentar las pasiones y la exageración» y que «el mundo [...] experimentó un exceso de excitación».

En el libro *Genes de papel* (CSIC, 2014), la historiadora Matiana González Silva, entonces en el Centro de Historia de la Ciencia de la Universidad Autónoma de Barcelona, analizó algunas de las causas que influyeron en esa sobreexcitación mediática [*véase* «Determinismo genético y periodismo», por Miguel García-Sancho; Investigación y Ciencia, junio de 2015]. Entre ellas, destaca la necesidad de justificar una inversión de 2700 millones de dólares. Pero quizá la más fascinante sea la especial resonancia entre la narrativa de la salud como algo básicamente genético y la mentalidad de la época de Reagan y Thatcher, que, en el debate sobre el origen natural o social de las enfermedades, se inclinaba claramente por las causas naturales.

UN SECTOR EN CRISIS

¿Por qué los periodistas científicos aceptan tan fácilmente las narrativas propagandísticas? Descontando el daño creado por profesionales vagos e incompetentes, hay factores objetivos que debilitan la capacidad de los redactores de generar y procesar información como es debido. Un sondeo realizado entre casi 500 periodistas científicos llevado a cabo por *Nature* en 2009 y presentado en el artículo de Geoffrey Brumfiel «Periodismo científico: ¿suplantando a los viejos medios?» reveló que en los cinco años anteriores las plantillas de los medios se habían reducido en todo el mundo (una tercera parte en EE.UU. y Canadá), mientras que la cantidad de artículos que debían escribirse había aumentado para el 59 por ciento de los periodistas.

A ello hay que añadir una distribución de sueldos y honorarios profundamente injusta en algunos países y empresas, que proporciona compensaciones insuficientes a quienes desarrollan el trabajo diario de reporterismo (redactores de base y periodistas independientes). En estas condiciones, la información institucional bien empaquetada se abre fácilmente camino en la prensa, a costa de los temas propios o desarrollados críticamente.

También el sistema de los medios en su conjunto está debilitado. La prensa acumula crisis sobre crisis. La última, financiera, se ha sumado a la anterior, de modelo, inducida por la aparición de la Red: el tradicional sistema de ingresos basado en ventas, suscripciones y publicidad se está desvaneciendo ante un sistema con información gratuita y una fuga de la publicidad hacia redes sociales como Facebook. Estos retos se han añadido a una crisis de identidad anterior. En *Flat Earth news* (2008), el periodista de investigación Nick Davies apunta contra la financiarización de los medios: su transformación en grandes corporaciones, en las cuales las necesidades comerciales prevalecen sobre la función democrática. La suma de estos factores ha hecho a los medios dependientes de subvenciones públicas y de deudas privadas, recortando su libertad y autonomía.

El periodismo científico en particular es especialmente vulnerable. Desde sus orígenes, ha confundido relaciones públicas con información independiente. William Laurence, periodista del *New York Times* y receptor del premio Pulitzer en 1946, fue uno de los primeros periodistas «empotrados» (*embedded*) al ser el único reportero invitado por el Pentágono para cubrir el bombardeo atómico de Japón. Al mismo tiempo, Laurence era empleado del Departamento de Guerra, donde escribía notas de prensa sobre la bomba. Su artículo sobre una rueda de prensa militar organizada en Nuevo México tras los bombardeos se comenta solo: «Este sitio histórico de Nuevo México, escenario de la primera explosión atómica y cuna de una nueva era, ha dado la respuesta más efectiva a la propaganda japonesa, según la cual las radiaciones serían mortales».

El cuadro no es halagüeño. Es más, plantea una duda inquietante: ¿y si resulta que todos los incentivos favorecen que los pe-



riodistas científicos rellenen páginas con historias baratas, ligeras, sin controversia y que refuerzan prejuicios previos? No cabe duda de que en algunos casos es así: el bucle ciencia-medios puede girar como una formidable maquinaria de propaganda. Sin embargo, también puede girar en el sentido opuesto. Veamos algunos ejemplos de ello.

OTRO PERIODISMO CIENTÍFICO ES POSIBLE

En 2009, con ocasión de la Conferencia Mundial de Periodistas Científicos celebrada en Londres, *Nature* planteó en su portada una pregunta: «Periodistas científicos: ¿animadores o perros guardianes?». Es decir, los periodistas científicos ¿tienen que parecerse más al tópico del reportero deportivo o al cinematográfico? En las tres especialidades (ciencia, deportes y cine), el periodista suele ser un apasionado del tema que cubre. Sin embargo, la actitud hacia el mismo es muy distinta. Algunos periodistas deportivos suelen dedicarse a generar un clima de excitación alrededor del deporte o de una adhesión acrítica a un equipo. Por el contrario, los periodistas cinematográficos asumen por defecto una distancia, adoptan una visión crítica y tienen en cuenta el contexto de las películas.

Esta segunda actitud se encuentra en las iniciativas más innovadoras en periodismo científico (desde el español *Materia* hasta el estadounidense *Undark*, por citar solo dos) junto con las experiencias más consolidadas (desde *Nature* a *The Guardian*). Podría resumirse en un eslogan: «Poner más periodismo en el periodismo científico». O, en otras palabras, intentar que la información científica en los medios no se aleje de los valores nucleares del periodismo. ¿Cómo afecta ello a los contenidos, los métodos y los formatos?

En cuanto a la selección de contenidos, se trata de buscar temas propios, historias originales, ahondar en cuestiones que generen controversia y debate, desarrollar investigaciones periodísticas que revelen hechos inéditos y generen cambios —en la mentalidad o incluso en la legislación—. En suma, generar contenidos propios de un periodismo científico necesario, no decorativo.

En lo que atañe a los métodos, deberían aplicarse al periodismo científico las reglas de oro del mejor periodismo: contrastar los hechos; fundamentarse en datos; consultar fuentes distintas (que en ciencia quiere decir hablar no solo con científicos, sino también con otros actores como pacientes, activistas, técnicos, asociaciones o sindicatos); explicitar los límites, los sesgos y los conflictos de intereses; proporcionar el contexto temporal (antecedentes y posibles desarrollos futuros); tener en cuenta las dimensiones de género, clase, edad, etnia y educación, y abordar los aspectos políticos de la ciencia (infraestructuras, recursos humanos, financiación, ética, derechos humanos, etcétera).

En cuanto a los formatos, es hora de explorar las nuevas narrativas digitales, el periodismo de datos, y combinarlos con la excelencia en la narración, la fotografía y el audiovisual.

Podemos encontrar ejemplos de periodismo excelente en todos los formatos, temas y países. En 2010, Deborah Cohen, Philip Carter y The Bureau for Investigative Journalism llevaron a cabo una investigación periodística para el *British Medical Journal* (BMJ) sobre el papel de la OMS en la crisis de la gripe A. En 2004, la OMS



recomendó acumular antivíricos, lo que se tradujo en ingresos de miles de millones de dólares para Roche y GSK (fabricantes de Tamiflu y Relenza, respectivamente). Los periodistas descubrieron que los tres autores de la recomendación tenían conexiones con esas empresas. Como resultado de esa investigación, la OMS amplió la política de revelación de posibles conflictos de intereses en sus informes. El hecho de que el *BMJ* asignara el trabajo a un equipo de periodistas ofrece un ejemplo del modo en que la ciencia puede usar a su favor el bucle ciencia-medios.

Otro trabajo paradigmático corresponde a la investigación llevada a cabo entre 2000 y 2010 por la periodista Rebecca Skloot, que dio lugar al libro *La vida inmortal de Henrietta Lacks*. En 1951, la primera línea celular de la historia (las células HeLa) fue extraída del cáncer cervical de una campesina afroamericana, Henrietta Lacks. Las células HeLa están en la base de la moderna industria biotecnológica y se han usado para desarrollar todo tipo de aplicaciones: desde la vacuna de la polio hasta la fecundación in vitro. Sin embargo, la familia de Lacks —a la cual no se le pidió consentimiento previo a la extracción— ha permanecido en la pobreza y quedó traumatizada por no comprender los usos de las células de su familiar. El libro de Skloot relata esta potente y controvertida historia con gran habilidad narrativa, combinando la tarea divulgativa con el debate alrededor de la ética de la ciencia y de la compleja relación entre medicina y racismo.

Uno de los profesionales más innovadores de los últimos años en este sector es sin duda el periodista de datos Peter Aldhous. Un ejemplo de sus múltiples incursiones en el mundo de la ciencia de la mano del análisis de datos es una investigación llevada a cabo por *Nature* en 2014. Aldhous analizó diez años de artículos publicados en *PNAS* por miembros de la Academia Nacional de Ciencias estadounidense, los cuales disponen de una vía rápida de publicación (una revisión por pares más laxa). El periodista identificó los trece académicos que empleaban más la vía rápida (entre ellos dos premios nóbel y seis miembros o exmiembros del comité editorial), con hasta tres o cuatro publicaciones por año llevadas a cabo por este método, muchas más que las publicadas por la vía ordinaria. El trabajo de Aldhous aplica al periodismo científico una herramienta innovadora (el periodismo de datos) y ofrece un ejemplo de abordaje periodístico a los mecanismos de la ciencia y su política.

El autor de estas líneas ha cosechado también algunas contribuciones en este sentido. Si bien más modestas que las anteriores, demuestran que siempre es posible poner más periodismo en el periodismo científico. Entre 2011 y 2016, descubrí y seguí para *Nature* el caso de Omid Kokabee. Este doctorando en física iraní de un instituto de Barcelona fue detenido en Irán y condenado por espionaje. Sin embargo, Kokabee afirma que la razón real de su detención fue su rechazo a integrarse en un proyecto de investigación nuclear militar. El trabajo, que ha culminado con la liberación de Kokabee, aborda una intensa historia humana y las cuestiones de la libertad académica y de la huella nuclear en la ciencia iraní.

En 2013, el proyecto Fuga2 (publicado por *El Periódico* en colaboración con Elisa Vivas y Francisco José Moya) encuestó por Internet a 400 investigadores españoles que decían haberse ido de España o no poder volver por causa de la crisis; una suerte de etnografía de la fuga de cerebros. El alud de participación y el análisis de las respuestas reforzó la idea —entonces cuestionada por el Gobierno— de que la crisis había generado una pérdida de talento.

Finalmente, en 2016, el proyecto *Hearing voices* («Escuchar voces»), llevado a cabo en colaboración con Philipp Hummel, Astrid Viciano y Elisabetta Tola, y publicado por *El Periódico*, *Der Spiegel*, *Repubblica.it*, *Le Scienze* y otros medios, abordó los problemas del uso de la ciencia de la voz en los tribunales. Decenas de casos judiciales controvertidos, mensajes de alerta lanzados en artículos científicos y estadísticas que revelan la amplia difusión de métodos pseudocientíficos ponen en tela de juicio la calidad de la fonética forense. Los mismos expertos están divididos sobre cuáles son los métodos y el marco estadístico más adecuados. Finalmente, la falta de reglas forenses, junto con los recortes y privatizaciones que ha sufrido el sistema judicial, facilitan que ciertos charlatanes tengan acceso a los tribunales actuando como si fueran expertos. Este trabajo combina el periodismo científico con el periodismo de investigación clásico.

Todos estos ejemplos demuestran que, aunque mucho reporterismo de ciencia ha caído en la trampa de la propaganda, otro periodismo científico es posible. Es más, otro periodismo científico ya se hace y nunca ha dejado de hacerse. IyC

PARA SABER MÁS

Últimas noticias sobre el periodismo. Furio Colombo. Editorial Anagrama, Barcelona, 1998.
A field guide for science writers. Dirigido por Deborah Blum, Mary Knudson y Robin Marantz Henig. Oxford University Press, 2005.
Flat Earth news. Nick Davies. Vintage Books, Londres, 2008.
El periodista universal. David Randall. Siglo XXI de España Editores, S.A., Madrid, 2009.
The global investigative journalism casebook. Mark Lee Hunter. UNESCO series on Journalism Education, París, 2012.
The news media: What everyone needs to know. C. W. Anderson, Leonard Downie, Jr. y Michael Schudson. Oxford University Press, 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

El control sobre el periodismo científico. Charles Seife *en este mismo número*.
¿Qué hallazgos despiertan mayor interés mediático? La redacción *en este mismo número*.

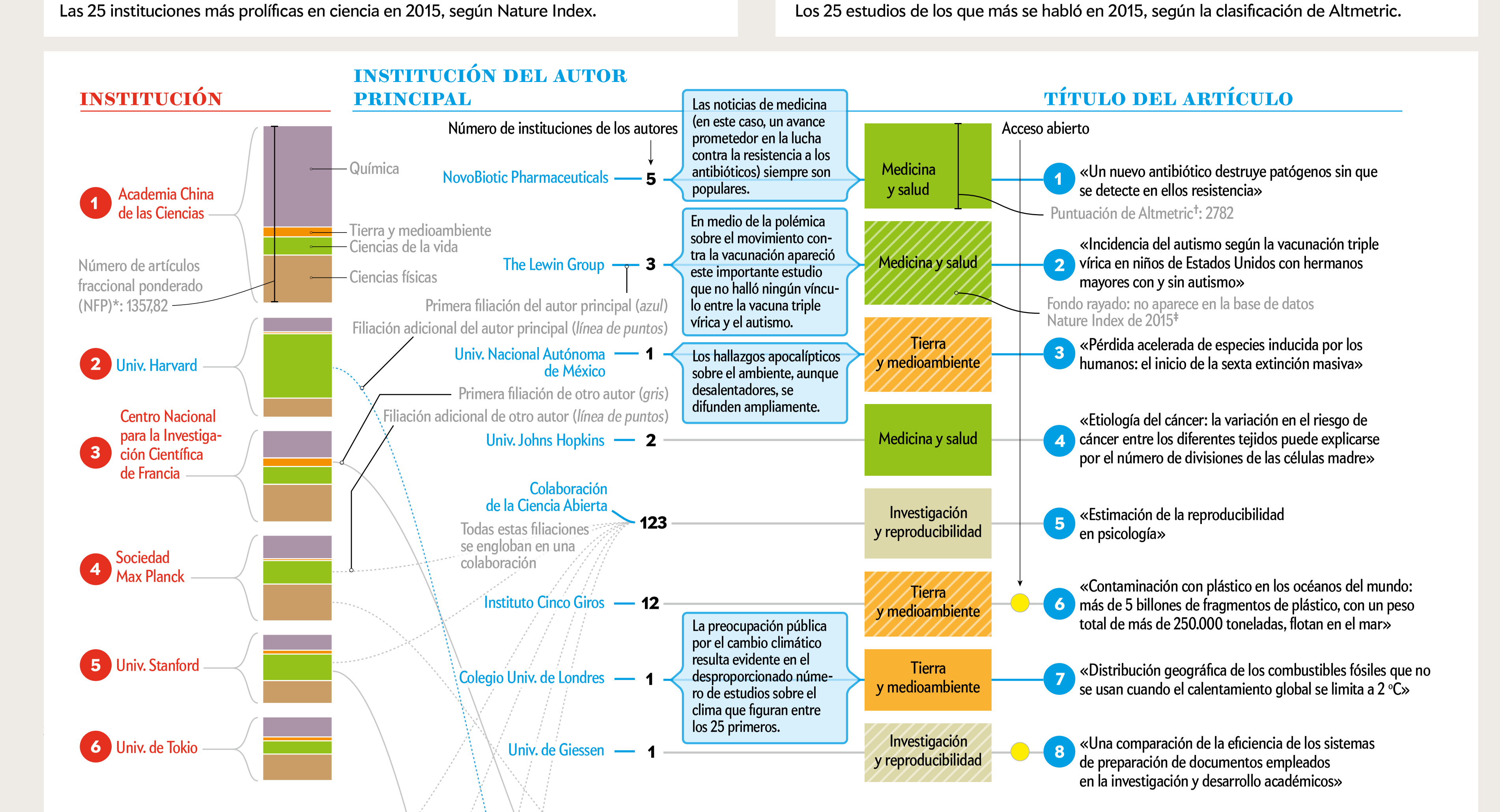
¿QUÉ HALLAZGOS DESPIERTAN MAYOR INTERÉS MEDIÁTICO?

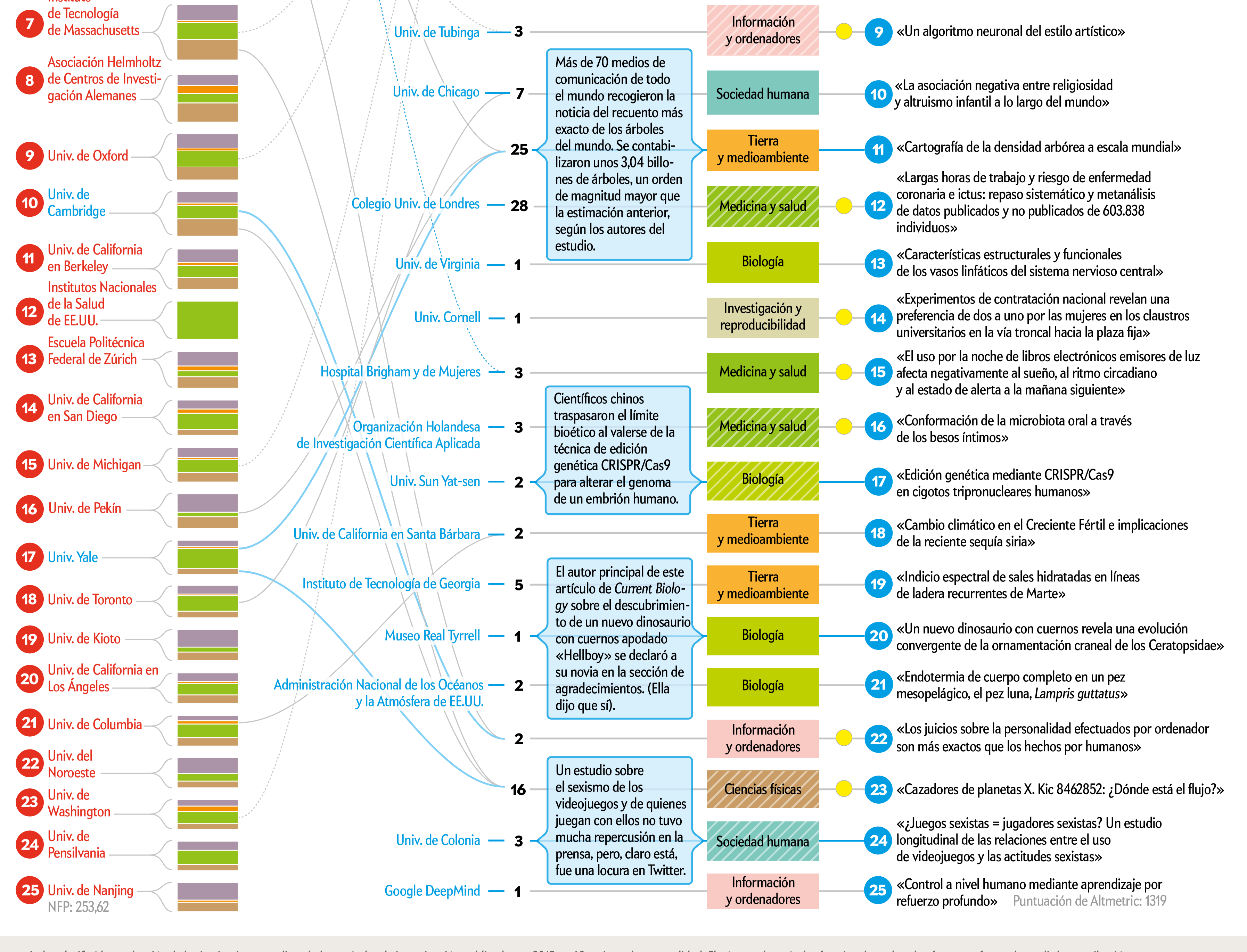
Las revistas científicas publican decenas de miles de estudios todos los años, pero el público oye hablar solo de una minúscula parte. ¿Qué estudios consiguen atravesar esa barrera, y cómo? Los mayores productores de investigaciones sujetas a revisión por pares, ¿son los que más interés despiertan en la prensa? ¿Cubren los medios los distintos temas en proporción a la atención que los científicos les prestan? Para saberlo, hemos comparado los datos de Nature Index, que clasifica las instituciones por su producción investigadora, con los números de Altmetric, una firma que analiza cómo cubren los medios la investigación científica.

—*La redacción*

QUIÉN ENCABEZÓ LAS LISTAS DEL NÚMERO DE PUBLICACIONES...
Las 25 instituciones más prolíficas en ciencia en 2015, según Nature Index.

...Y QUIÉN SUSCITÓ INTERÉS EN LAS NOTICIAS Y EN LOS MEDIOS SOCIALES
Los 25 estudios de los que más se habló en 2015, según la clasificación de Altmetric.





JEN CHRISTIANSEN

* *Nature Index clasificó la producción de las instituciones analizando los artículos de investigación publicados en 2015 en 68 revistas de gran calidad. El número de artículos fraccional ponderado ofrece una forma de medir la contribución de cada institución al total de las investigaciones que modera la sobrerrepresentación de las revistas de astronomía y astrofísica. Lo compila Nature Research, que, como Investigación y Ciencia, forma parte de Springer Nature.*

† *Altmetric puntúa los artículos de las revistas académicas según su difusión, medida por datos que incluyen las menciones en las noticias y en los medios sociales. Como Investigación y Ciencia, es en parte propiedad del Grupo Editorial Holtzbrinck.*

‡ *Algunos de los 25 primeros artículos de la clasificación de Altmetric no figuran en Nature Index, bien porque se publicaron antes de 2015, bien porque no aparecieron en alguna de las 68 revistas que fueron analizadas por Nature Index.*





Susana Martinez-Conde y **Stephen L. Macknik** son catedráticos, respectivamente, de oftalmología y neurología y de fisiología y farmacología en la Universidad estatal de Nueva York. Son autores de la sección «Ilusiones» en *Mente y Cerebro* y también han escrito libros de divulgación.

Devin Powell es periodista científico. Ha publicado en el *New York Times*, el *Washington Post*, *Nature*, *National Geographic*, *Smithsonian* y otros medios de comunicación.

CIENCIA Y SOCIEDAD

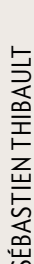
LAS CUITAS DEL CIENTÍFICO DIVULGADOR

Relacionarse con el público ha sido tabú en los círculos científicos, pero las redes sociales están forzando un cambio

Susana Martinez-Conde, Devin Powell y Stephen L. Macknik

Roger Smith (no es su verdadero nombre) nunca tuvo la intención de llegar a ser un científico popular. Pero hace unos años, tras publicar un descubrimiento de gran importancia en la revista *Science*, no vio razón alguna para esquivar a los periodistas. De pronto, su trabajo aparecía por todas partes, hasta en el *New York Times*. Le invitaron a hablar en prestigiosos congresos de difusión de «ideas» y vio que valía para explicarle la ciencia a la población. Su charla para TED (de «Tecnología, entretenimiento y diseño»), organización que exhibe en su sitio en la Red breves conferencias sobre temas diversos, se vio cientos de miles de veces.




SÉBASTIEN THIBAULT

Que su fama fuese a más le supuso, sin embargo, unos problemas inesperados. Aunque siguió realizando investigaciones de alta calidad y sus resultados se publicaban todavía de forma regular en revistas científicas prestigiosas, algunos de sus colegas empezaron a penalizarlo por esa fama creciente. Sus solicitudes de fondos para realizar nuevos experimentos empezaron a ser rechazadas. Los evaluadores anónimos de las propuestas para las que buscaba una subvención hacían comentarios terribles, recuerda, del estilo de «el muy bien publicitado» o «el demasiado aireado» trabajo de Smith. A consecuencia de esas reacciones negativas, declinó una invitación a dar una segunda charla TED y cerró su laboratorio a la prensa. «Se acabó», recuerda haber pensado por entonces. «Ya no me comunico más [con el público].»

Al tipo de represalia profesional que Smith sufrió se le suele denominar «efecto Sagan», por el astrónomo y superestrella de la divulgación científica Carl Sagan. En gran medida por culpa de una popularidad cada vez mayor, hubo de sufrir que sus colegas le ridiculizasen y perdiera varias oportunidades profesionales, entre ellas ser numerario de la Universidad Harvard en los años sesenta e ingresar en la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos en los noventa. «La gente decía que le dedicaba más tiempo a divulgar que a investigar en serio», cuenta Joel S. Levine, catedrático del Colegio William & Mary, que discrepaba de esa habladuría. Los dos se hicieron amigos mientras trabajaban en el programa Viking en los años setenta.

Un cuarto de siglo después de su chasco en la Academia Nacional de Ciencias, el efecto que lleva el nombre de Sagan aún persiste. Según diversos estudios realizados en los últimos años, la comunidad científica sigue desalentando a los investigadores que quieren involucrarse con la población, a menos que estén bien establecidos y sean de primer rango. Esta mentalidad priva a la sociedad de contar con la totalidad de conocimientos especializados que necesita para tomar decisiones bien informadas sobre algunas de las cuestiones más complejas de hoy, como la ingeniería genética, el cambio climático o las fuentes alternativas de energía. Silenciar voces en la comunidad científica deja además importantes cuestiones de política y economía al albur de manipuladores, de la inclinación política que sea, reacios a reconocer los hechos. Que haya menos voces científicas significa que habrá también menos argumentos que contrarresten los enfoques anticientíficos o pseudocientíficos.

Al limitar la relación de los investigadores más avezados con el público, el efecto Sagan perpetúa además la impresión de que la ciencia es un predio de hombres blancos entrados en años, los que predominan en la parte más alta del escalafón. Aunque la proporción de catedráticas ha ido aumentando a lo largo de este último par de décadas, y aunque el número de personas pertenecientes a minorías en los puestos más altos se ha incrementado también —si bien no tan deprisa—, disminuir la presencia pública de estos grupos podría desanimar a las mujeres y a las minorías infrarrepresentadas, hasta el punto de que ni siquiera piensen en dedicarse a la ciencia.

Hace poco nos pusimos en contacto con casi doscientos científicos activos que se acercan de forma regular al público, sea como oradores codiciados, influyentes autores de blogs o escritores que venden muchos libros. Queríamos saber cuántos de estos divulgadores de élite tenían que sufrir consecuencias adversas a causa de sus intervenciones públicas, y en qué circunstancias. Nuestra encuesta informal, además de ser coherente con investigaciones anteriores revisadas por pares,

descubrió que podría estar produciéndose un venturoso cambio de mentalidad. El mayor uso de medios sociales, como Twitter, Facebook y los blogs personales, entre otros cambios experimentados por el mundo científico en los últimos años, parece estar derribando algunas de las antiguas barreras que impedían un mayor diálogo entre los investigadores y la sociedad.

CIENTÍFICOS SOLTEROS

Hasta cierto punto, el efecto Sagan tiene sus raíces en una antigua opinión, de hace cientos de años, acerca de cómo se supone que trabajan los científicos. En el apogeo de la revolución científica del siglo XVII, numerosos investigadores siguieron el ejemplo de Sir Isaac Newton, que se dedicó intensamente a desarrollar e investigar la física y las matemáticas y no se casó nunca. A aquellos científicos solteros, casi todos hombres, se los consideraba perseguidores puros de la verdad que no se distraían con las preocupaciones más prosaicas que acarrea el tener una familia.

Algo de este modo de ser persiste en el presente. Aunque hoy resulta mucho más probable que los científicos se casen e incluso tengan hijos, todavía se supone que han de entregarse a la vida en el laboratorio, al menos según preconizan muchos asesores y tutores durante los estudios de doctorado. Por tanto, cualquier cosa que los aparte de sus estudios (como tener una afición o participar en debates públicos) puede socavar su credibilidad como investigadores. Aunque existen escasos trabajos que aborden las consecuencias profesionales que la divulgación tiene en los distintos países, los que hay dan a entender que el efecto Sagan sigue siendo un problema.

Pero las expectativas poco realistas solo explican una parte de ese comportamiento. Muchos de los investigadores que hemos entrevistado sospechan que también los celos profesionales contribuyen a las reacciones negativas que experimentan. «Buena parte de esto sucede a las espaldas de uno», escribía en un mensaje de correo electrónico Frans de Waal, célebre primatólogo de la Universidad Emory. Añadía que suele oír indirectamente, de boca de amigos, que hay colegas que se quejan de su trabajo como divulgador.

Dos de nosotros (Martinez-Conde y Macknik) hemos sufrido críticas parecidas por nuestra participación pública. En la evaluación del rendimiento anual de Martinez-Conde, en una institución donde trabajó anteriormente, el director de su departamento lamentó que la estelar productividad académica de la autora hubiera quedado ensombrecida ese año por sus escritos divulgativos. Una respuesta oficial a una de las solicitudes de financiación remitidas por Macknik a los Institutos Nacionales de la Salud de EE.UU. le advertía de que había practicado demasiado la comunicación científica.

Aunque nuestra carrera no sufrió en términos generales, nos entró curiosidad por las experiencias de otros científicos. Hicimos equipo con Devin Powell, coautor de este artículo, y nos dirigimos a 190 comunicadores de élite por correo electrónico y en persona. Recibimos 81 respuestas. Muchos dijeron que su empeño por llegar a la gente había resultado beneficioso para su carrera, pero otros experimentaron una mezcla de consecuencias positivas y negativas. Y algunos, como Smith, sufrieron efectos muy negativos.

Los hay que han hallado una solución creativa al dilema, que consiste en llevar lo que a todos los efectos es una doble vida. Dennis Hong, especialista en robótica de la Universidad de California en Los Ángeles, explica que mientras que en Corea del Sur, donde se crió, es una superestrella, en Estados Unidos no habla de su fama. «Allí la gente me reconoce. Quieren sacarme fotos», dice. «Así que mantengo dos actitudes: intervención pública en Corea, pero ninguna actividad externa en Estados Unidos. En el mundo académico predomina la sensación de que uno no es un investigador de verdad si se deja ver demasiado, si sale mucho en televisión o en la portada de las revistas.»

DATOS SORPRENDENTES

La suposición de que los divulgadores no pueden ser científicos serios se viene abajo cuando se miran los datos pertinentes. Los diversos estudios efectuados hasta la fecha indican que los expertos que se dirigen al público con regularidad, lejos de ser de segunda fila, tienen también una productividad mayor en el laboratorio.

Por poner un ejemplo: según un estudio de 2008, que investigó a más de 3600 investigadores del Centro Nacional para la Investigación Científica de Francia, quienes se mostraban activos en difundir la ciencia publicaban más artículos revisados por pares que quienes no la divulgaban; además, sus trabajos eran más citados por otros investigadores.

Otro estudio midió el número de artículos científicos y de divulgación publicados entre 2005 y 2007 por científicos de Alemania, Argentina, Australia, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Finlandia, Hong Kong, Italia, Malasia, México, Noruega y el Reino Unido. Los que habían escrito obras de divulgación eran, como autores académicos, más prolíficos que la mayoría de sus colegas y trabajaban más duramente (un promedio de 49,3 horas por semana contra 47,8). El propio Sagan cumplía ese perfil: de media, sacó más de un artículo científico al mes durante sus cuarenta años de carrera, hasta su muerte en 1996.

Esperábamos que quienes respondieron a nuestro cuestionario habiendo tenido éxito como divulgadores apoyarían que los investigadores noveles siguiesen sus pasos. Pero incluso ellos ponían a menudo sobre aviso de que, para la mayoría de los que quieren una plaza fija, seguramente es mejor retrasar su interacción con el público hasta haberla logrado. Daniel Kahneman, que ganó el premio Nobel de economía en 2002 y publicó en 2011, con mucho éxito, su libro *Pensar rápido, pensar despacio,* sostiene que convertirse en una figura pública cuando todavía se está en una etapa demasiado temprana de la carrera académica se opone a las

normas de la comunidad científica. La fama debería venir de las publicaciones científicas, comenta, no de involucrarse en la divulgación. «Si uno escribe libros para la población general mientras es profesor ayudante, puede que no llegue a numerario porque no se lo considera serio», apunta Kahneman. «Cuando se trata de universidades, esa es la norma. Se supone que se ha de investigar hasta que se obtiene la plaza fija, y hasta bastante después.»

Daniel Gilbert, catedrático de psicología de Harvard y autor de *Tropezar con la felicidad*, está de acuerdo con eso. «Empecé [a escribir para el gran público] en 2000, cuando ya era numerario y catedrático», explica. «No aconsejaría a los profesores jóvenes, sin plaza fija, que se dedicaran a ello.»

Aunque no sea esa la intención, el resultado neto de «esperar hasta ser numerario» acaba perjudicando a las mujeres y a las minorías porque no están bien representadas en la parte más alta del escalafón académico. Quizás en parte debido a esa falta de representación, hay miembros del mundo académico pertenecientes a alguna minoría que se hallan sometidos a una presión institucional para que practiquen la comunicación, sientan o no inclinación hacia ello. «En esencia, viene a ser como un oficio adicional que se espera que desempeñen a causa de su origen (en vez de por su deseo de participar en la comunicación pública)», escribió en un mensaje de correo electrónico Lucianne Walkowicz, astrónoma del planetario Adler.

«Si uno es elocuente y queda medio decente ante la cámara, le van a pedir que lo haga», afirma J. Marshall Shepherd, afroamericano, que dirige el programa de ciencia de la atmósfera de la Universidad de Georgia y presenta su propio programa de televisión. Raychelle Burks, profesora ayudante de química en la Universidad de St. Edwards en Austin, Texas, bromea diciendo que a veces le parece que los periodistas dan con ella al buscar en Google «científica perteneciente a una minoría».

«Como mujer negra, soy totalmente partidaria de dar oportunidades», dice. «Pero hay una gran diferencia entre preguntarse si una es la mejor para ese trabajo, o simplemente sirve de símbolo porque alguien necesita una persona de raza negra.»

LAS NORMAS CAMBIAN

Algunas de las respuestas a nuestra encuesta dan a entender que involucrarse con el resto de la sociedad va siendo menos peligroso para la carrera de un científico; incluso, puede resultar beneficioso. Hay ahora tantas personas que tienen cuentas en los medios sociales que convertirse en una figura pública ya no es tan inusual para los científicos como lo era antes. Además, a medida que los canales tradicionales de financiación siguen estancados, «hacerse público» a veces da lugar a fuentes de ingresos nuevas y poco ordinarias para proyectos que merecen la pena.

La explosiva irrupción de los medios sociales en la década pasada, no obstante, ha dejado al descubierto una brecha generacional entre nativos digitales e investigadores con más edad. Chris Gunter, catedrática de la facultad de medicina de la Universidad Emory, cuyo nombre de usuario es @girlscientist, comenta que le han interpelado: «¿Qué estás haciendo en Twitter? Eso es una pérdida de tiempo». Pero afirma que en 2014 publicó un artículo en *Nature* que empezó con una discusión en Twitter.

No obstante, nuestra encuesta indica que un puñado de instituciones con visión de futuro (como Emory y el Instituto de Tecnología de Massachusetts) quizás hayan empezado a valorar la intervención pública como un área básica del rendimiento académico, además de las funciones tradicionales de investigar, enseñar y administrar. «En Emory, en la evaluación de mitad de mi contrato dejé muy claro a mi instituto lo que estaba haciendo», explica el parasitólogo Jaap de Roode. «Decían que era muy positivo para mí y para la universidad. Da mucha visibilidad.»

La Fundación Nacional para la Ciencia, una excepción entre las agencias federales estadounidenses que proveen fondos, ha adoptado una posición oficial en favor de la divulgación. En la evaluación de las propuestas de subvención que se remiten a la entidad, además del mérito intelectual, se tienen en cuenta también los efectos en la sociedad «en un sentido más amplio», lo cual incluye la difusión de los hallazgos a la población. Las organizaciones menos benévolas y los investigadores bien establecidos deberían seguir estos ejemplos.

Solo comunicando nuestros descubrimientos ampliamente podremos, como científicos, bajar de nuestra torre de marfil y desempeñar un papel mayor en la conformación del tipo de sociedad en que deseamos vivir: una que valore los hechos como son, aliente el empeño científico y siga creciendo. IyC

PARA SABER MÁS

The measure of a life: Carl Sagan and the science of biography. Michael Shermer en *Skeptic*, vol. 7, n.º 4, págs. 32-39, 1999.

Smart people believe weird things. Michael Shermer en *Scientific American*, septiembre 2002.

Scientists who engage with society perform better academically. Pablo Jensen et al. en *Science and Public Policy*, vol. 35, n.º 7, págs. 527-541, agosto de 2008.

Academic staff and public communication: A survey of popular science Publishing across 13 countries. Peter Bentley y Svein Kyvik en *Public Understanding of Science*, vol. 20, n.º 1, págs. 48-63, enero de 2011.

Gap between science and media revisited: Scientists as public communicators. Hans Peter Peters en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 110, Suplemento n.º 3, págs. 14.102-14.109, 20 de agosto de 2013.

Has contemporary academia outgrown the Carl Sagan effect? Susana Martinez Conde en *Journal of Neuroscience*, vol. 36, n.º 7, págs. 2077-2082, 17 de febrero de 2016.

EN NUESTRO ARCHIVO

La universidad y los blogs de divulgación científica. José Manuel López Nicolás en *IyC*, octubre de 2016.

ETOLOGÍA

ELIMINACIÓN DE RESIDUOS EN EL REINO ANIMAL

Las especies siguen distintas estrategias cuando tienen que hacer frente a los desechos propios o ajenos, ya sean heces o cadáveres

Silvia Bencivelli y Luigi Pontieri



BARRENDEROS AVEZADOS: La hormiga *Atta cephalotes* construye en el interior del nido cámaras especiales a las que lleva los residuos de su propia actividad.

Los residuos generan problemas: infecciones, alteraciones de la salud, trastornos sociales y, además, hedor y disgusto. Por eso los humanos nos hemos dotado de sistemas para la recogida de basuras de nuestro hábitat y para su eliminación lo más lejos posible: desagües, alcantarillas, contenedores, vertidos, incineradores y, en fecha más reciente, las complicadas cadenas de reciclaje de papel, vidrio, plástico o metales. Pero el problema no es solo nuestro. Afecta a todos los animales que viven en comunidad, que producen residuos y que deben defenderse de las infecciones y los depredadores. Visto a través de los ojos de un naturalista, las dificultades surgen a raíz de la convivencia entre individuos de la misma especie, pero sobre todo de la interacción entre diferentes especies; en especial, cuando una ve en los residuos de la otra recursos o reclamos, es decir, indicios de su presencia en el ambiente.

Así es como, si se busca en los rincones más íntimos del comportamiento animal, se descubren espacios que nosotros, los humanos, llamaríamos «aseos», «vertederos» y «basureros». Pero no solo eso. Uno de los residuos más difíciles de gestionar, incluso para nosotros, que no los consideramos como tales, son los cadáveres. Las abejas, las termitas y las hormigas han desarrollado conductas complejas para retirarlos, las cuales han evolucionado de forma independiente en diferentes especies de insectos sociales. Se trata de estrategias que se denominan en conjunto necroforesis, un término introducido a mediados de los años ochenta del siglo xx por el pionero de la mirmecología Edward O. Wilson.

A medida que las estudiamos, descubrimos que las tácticas necroforéticas no se hallan tan alejadas de las nuestras. Por el contrario, el cadáver de una compañera puede ser tratado por las hormigas, las abejas y las termitas de maneras parecidas a las que adoptamos los humanos. En el pasado, los naturalistas les han dado descripciones claramente antropomórficas al hablar de «funerales» y «cementerios», siguiendo la descripción que Plinio el Viejo hizo de las hormigas en su *Naturalis Historia*.

Tal parecido no debe sorprendernos. Se trata de una prueba más de que, con presiones evolutivas semejantes, la selección natural ha favorecido respuestas parecidas. Tanto nosotros como esos animales, que por algo se definen como sociales, solemos vivir cerca de nuestros congéneres en grandes comunidades. En el caso de los insectos, se habla de colonias, que a veces están constituidas por millones de miembros. Cada colonia vive dentro de su propia «ciudad», que puede ser el hormiguero, el termitero o la colmena. Y en un hormiguero, un termitero o una colmena, así como en una ciudad real, los patógenos y los parásitos que afectan a un individuo pueden convertirse rápidamente en fuente de epidemias que se propagan a toda la colectividad.

Pero, a diferencia de las especies solitarias, los humanos y los insectos sociales no hacemos algo tan sencillo como recoger nuestras pertenencias, trasladarnos a otro lugar para evitar el contacto con los patógenos y tal vez construir allí otra ciudad. No podemos ignorar el cadáver o mantenernos a distancia de él, como hacen ciertos escarabajos de algunas especies solitarias. Al final, lo que nos resulta más práctico es dotarnos de infraestructuras para gestionar los cadáveres, y de profesionales que las sepan hacer funcionar. En pocas palabras: hace falta algo parecido a un médico forense y un sepulturero.

SEÑALES DE MUERTE

Mientras tanto, ¿cómo se reconoce un cadáver? Y ¿cómo se lo detecta entre los millones de individuos que corren de un lado a otro en una ciudad enorme y bulliciosa? Entre los insectos, se piensa que el principal indicio de que se ha producido una muerte es de tipo químico, vinculado sobre todo a la acumulación de ácidos grasos en el cuerpo en descomposición. Lo demostró precisamente Wilson, con una serie de experimentos en los que observó que el detonante de la conducta necroforé-

tica era la «señal de muerte» dada por la exhalación de ácido oleico del cadáver.

Investigaciones más recientes han demostrado que algunas especies retiran los cadáveres incluso antes de que hayan podido comenzar a liberar sustancias. Por eso pensamos que, además de una señal química, hay otras que indican el cese de la vida, de acuerdo con la hipótesis avanzada en 2009 por Dong-Hwan Choe, de la Universidad de California en Riverside, en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences*. En el fondo, no sería diferente de lo que hacen los vertebrados, que entienden que tienen que hacer algo con un compañero muerto mucho antes de que su cuerpo entre en putrefacción, tan pronto dejan de percibir sus movimientos.

En cualquier caso, hoy en día está claro que, para la mayor parte de las hormigas, termitas y abejas, la química está de por medio, como ocurre en otras muchas especies de insectos, ya sean sociales, gregarias o solitarias. La hipótesis más probable, como sugirieron en 2013 Germán Octavio López Riquelme y María Luisa Fanjul Moles, ambos de la Universidad Nacional Autónoma de México, es que el reconocimiento de las señales químicas haya evolucionado como una forma genérica de alertar acerca de la presencia de cadáveres. En cambio, el comportamiento necroforético seguiría estando vinculado a la evolución de la conducta social, y por ello solo se da en las especies que viven en comunidad. El reconocimiento del «cese de la vida», por último, representaría una característica aún más reciente, seleccionada por la evolución, ya que proporciona más eficacia a la necroforesis.

Una vez que el cadáver ha sido identificado, es el momento de los sepultureros. Las abejas tienen especialistas en ese oficio: alrededor del 1 al 2 por ciento de los individuos de la colonia se dedican a la retirada de los cadáveres y a la gestión del riesgo que ello implica. En las hormigas, por lo general, se trata de los individuos de más edad: agarran el cadáver de la compañera fallecida y lo transportan rápidamente a zonas alejadas del nido, equiparables a nuestros cementerios, fuera de la ciudad (como hace la especie *Myrmica rubra*). O bien lo aíslan en cámaras especiales dentro del nido, donde lo apilan con otros residuos (como proceden algunas especies de hormigas cortadoras de hojas del género *Atta*). En las hormigas, las sepulturas como tales son raras, probablemente porque conllevan un elevado consumo de energía. Solo han sido descritas en la especie *Temnothorax lichtensteini*, en un trabajo publicado en 2010 en *Insectes Sociaux* por Marielle Renucci, del Instituto Mediterráneo de Ecología y Paleoecología de Aix en Provence. En cambio, se observan con frecuencia en los termes, que a veces cubren sus cadáveres con tierra. Esta diferencia probablemente se deba a que estos viven más confinados que las hormigas, de manera que también les puede resultar útil la necrofagia, un comportamiento que conlleva cierto riesgo de infección, pero que tiene la ventaja de permitir la recuperación de nutrientes.

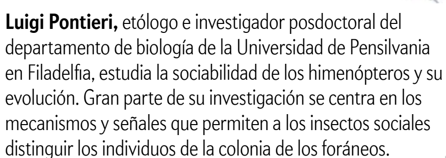
Por último, Jürgen Heinze, de la Universidad de Ratisbona, y Michel Chapuisat, de la de Lausana, en sendos artículos publicados en *Current Biology* en 2010, describían el comportamiento de varias especies de hormigas que prescinden de los sepultureros, como *Temnothorax unifasciatus*. En tales especies, cuando las obreras ancianas o enfermas sienten que se acerca su hora, se aíslan de sus compañeras y luego se apartan, para ir a morir solas lejos del nido. Este comportamiento de sacrificio individual tiene el objetivo de salvaguardar lo que es más importante para una hormiga: la salud de la colonia.

RECICLADO DE LOS CADÁVERES

Luego están las excepciones. O, mejor dicho, aquellos que no tratan los cadáveres como si fueran residuos, sino que los reciclan, aprovechándose precisamente de que son rechazados por otros por el riesgo de infección que conllevan, la exhalación de la señal química de la muerte o incluso solo por la repugnancia que inspiran. Lo hacen sobre todo con cadáveres de otros animales.

Así, Michael Staab, de la Universidad de Friburgo, describió en 2014 en la revista *PLoS ONE* una especie de avispa china que usa los cadáveres para proteger su nido. El insecto se ha ganado el nombre científico de *Deuteragenia ossarium*, ya que se la observó amontonar en la entrada del nido los cadáveres de hormigas probablemente cazadas de forma deliberada, matadas y transportadas hasta allí para proteger los huevos del ataque de los depredadores. La hipótesis de los investigadores es que lo hacen porque las hormigas, a pesar de que están muertas, siguen exhalando su olor característico y, por tanto, confunden a los posibles atacantes en busca de avispas. Sobre todo, porque se trata de hormigas muy agresivas y amenazadoras. Y, por consiguiente, resultan buenas guardianas, incluso después de muertas.

Sin embargo, hay quien tiene aún más inventiva. Hace algunos años, Simon Pollard y Robert Jackson, actualmente en las universidades de Cranfield y Canterbury, respectivamente, detallaron en la revista *Journal of Zoology* el extraño comportamiento de un insecto, *Acanthaspis petax*, observado en Malasia desde los años cincuenta, que caza hormigas, se las come y se cubre con sus cadáveres, junto con restos vegetales y tierra. La hipótesis es que el insecto, al cargar con esta «mochila», se construye



Silvia Bencivelli es periodista científica independiente, colaboradora de *La Repubblica*, la RAI y otros medios. Ha escrito varios libros de divulgación.


Luigi Pontieri, etólogo e investigador posdoctoral del departamento de biología de la Universidad de Pensilvania en Filadelfia, estudia la sociabilidad de los himenópteros y su evolución. Gran parte de su investigación se centra en los mecanismos y señales que permiten a los insectos sociales distinguir los individuos de la colonia de los foráneos.

EN SÍNTESIS

Los residuos son un problema no solo para los humanos. Pueden transmitir enfermedades y atraer a los depredadores con su olor. Por eso también los otros animales han tenido que inventar sus «vertederos», «aseos», varios tipos de medidas higiénicas y sistemas para desembarazarse de los cadáveres de los compañeros de nido.

Sin embargo, los residuos pueden constituir también un recurso: basta saber cómo usarlos y aprovechar de manera apropiada su hedor y contenido de bacterias.

La selección natural ha premiado a veces los comportamientos de reciclaje, que suelen ser los que producen más beneficio con un menor costo. Los ha favorecido tanto si se trata de residuos propios como si proceden de otras especies.

una especie de prótesis cuya función se asemeja a la de la cola de la lagartija. Es decir, en caso de ataque, se desprende de ella. Y mientras el depredador «inspecciona» aquel extraño equipaje, él se escapa corriendo. Esa misma mochila puede confundir también a los depredadores antes del ataque, debido a la mezcla de olores que genera; desorienta a los ciempiés, entre otros, que basan sus cacerías en el olfato.

Se trata de una conducta aparentemente contraria a la de algunos redúvidos, insectos comunes en todo el planeta y muy agresivos, entre los que se incluyen las denominadas, no por casualidad, chinches asesinas. Una de estas especies, *Salyavata variegata*, utiliza los cadáveres de los termes que acaba de devorar para atraer a otros termes y alimentarse, a su vez, de ellos. En la práctica, captura primero uno, come su interior succionándolo desde una extremidad y vaciándolo, y luego cuelga su exoesqueleto en los bordes del termitero para atraer a los otros.

Incluso entre las mismas hormigas hay excepciones a la conducta clásica. Un ejemplo es la hormiga faraón, una especie invasora que siempre ha viajado de manera clandestina siguiendo a los humanos, y que en climas no tropicales coloniza ambientes cerrados de todo tipo, tales como grietas en las paredes, cables eléctricos, incluso ordenadores. Una investigación reciente, llevada a cabo por uno de los autores de este artículo (Pontieri) y publicada en 2014 en *PLoS ONE*, demostró que la hormiga faraón prefiere anidar en zonas llenas de cadáveres de compañeras muertas e infectadas. Es decir, si tiene que desplazarse y reconstruir su propio nido, lo hace preferentemente allí donde otras hormigas no irían nunca. Una de las hipótesis es que la proximidad de los cadáveres infectados estimula el sistema inmunitario y lo refuerza. Equivaldría, pues, a una suerte de vacunación que proporciona resistencia a los individuos y les confiere capacidad para adaptarse a diferentes ambientes.

GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

La necesidad de limpiar el nido, sin embargo, va mucho más allá de las tareas de médico forense. Todos los días hay que retirar los restos de comida, así como la porquería diversa que se genera en su interior, o la que traen los individuos que vuelan o andan en el exterior y que luego entran en casa con las alas y las patas sucias.

En las hormigas cortadoras de hojas del género *Atta*, por ejemplo, la cantidad de residuos producidos cada día es enorme. Se trata de especies que viven en colonias de millones y millones de individuos que recogen cantidades gigantescas de material vegetal, del orden de toneladas por año, a veces defoliando zonas enteras de bosque. Utilizan el material para hacer crecer un tipo particular de hongo beneficioso del que se alimentan las hormigas, que a su vez puede ser parasitado por otro hongo dañino. Así pues, los residuos contienen material vegetal sobrante o en descomposición, hongo beneficioso pero antiguo, esporas del hongo dañino, etcétera. No es casualidad, por tanto, que estas hormigas construyan auténticos vertederos.

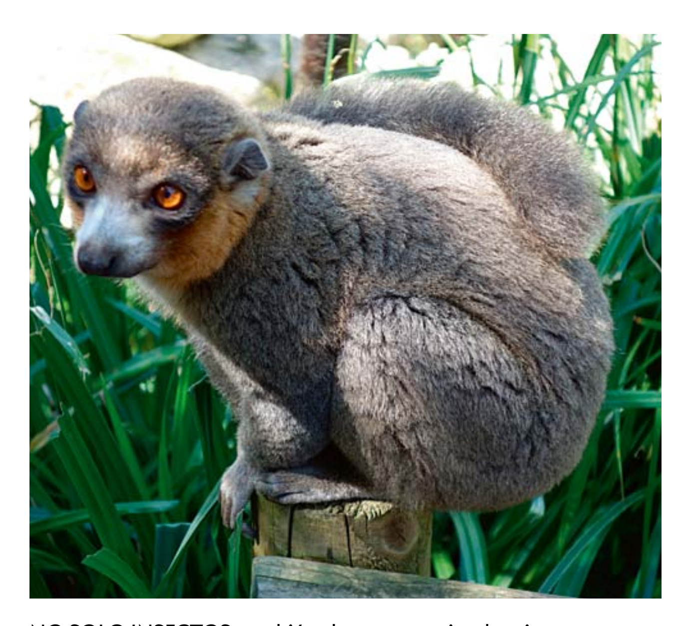
Sin embargo, hay diferencias entre las especies. Algunas, como *Atta cephalotes*, acumula los residuos en cámaras especiales en el interior del nido. En cambio, la hormiga *Atta colombica* los vierte en el exterior, como demostraron Adam G. Hart, de la Universidad de Gloucestershire, y Francis Ratnieks, de la Universidad de Sussex, en su artículo publicado en 2002 en la revista *Behavioral Ecology*.

Aún hay más. *Atta colombica* sitúa los vertidos en el fondo del nido para impedir el reflujo de los restos y las aguas residuales en caso de lluvia, y construye dos entradas separadas, una para la entrada de alimentos y otra para la salida de la basura. Para la gestión de todo el sistema, tiene un método altamente especializado que comprende hormigas «barrenderas», encargadas de la limpieza de las cámaras del hormiguero, hormigas «transportistas», que llevan rápidamente los residuos al vertedero, y otras de mayor tamaño, que se ocupan de la propia descarga y apilan los residuos de manera que se asegure su rápida descomposición. De todas las hormigas que trabajan fuera del nido, las que desempeñan estas tareas constituyen el once por ciento.

Hay, sin embargo, residuos más complicados que otros. Son las heces y la orina, que resultan muy difíciles de transportar y que, sobre todo, pueden convertirse en señales que atraen la atención de los depredadores. Quien vuela tiene menos problemas: cuando la naturaleza acucia, las abejas abandonan la colmena y se alivian mientras vuelan, a veces reuniéndose en grandes grupos. En cambio, la oruga de la mariposa *Epargyreus clarusla* expulsa sus desechos con fuerza a una gran distancia, que puede superar los 1,5 metros. Pero quien vive en tierra tiene la necesidad concreta de un «retrete».

Se ha observado así que la hormiga *Lasius niger* crea cámaras destinadas únicamente a esa finalidad, sin ningún otro tipo de residuo en su interior, de manera parecida a un lavabo público. Según Tomer Czaczkes, de la Universidad de Ratisbona y autor de la investigación publicada en 2015 en *PLoS ONE*, las heces probablemente no representan una amenaza grave de infección. Incluso pueden reutilizarse para la alimentación, como, por otra parte, hacen numerosos otros animales, lo que explicaría la función exclusiva de estos retretes-despensa.

No solo eso: las heces contienen sustancias que en algunas circunstancias pueden resultar muy valiosas y ser reutilizadas de maneras diversas, no solo ingiriéndolas. Para algunas termitas representan un excelente material de construcción: mezcladas con tierra, mitigan la erosión del suelo y ayudan a mantener estable toda la estructura del nido. Y dado que poseen cierta actividad antifúngica, si se recubren con ellas las paredes, pueden



NO SOLO INSECTOS, también algunas especies de primates, como el lémur de pies blancos de Madagascar, aprovechan sus propios residuos. En el caso de estos lémures, los desechos resultan cruciales para crear redes sociales.

ofrecer, además protección. Incluso la cucaracha de caperuza marrón (*Cryptocercus punctulatus*), que fabrica su nido en la madera podrida, para mantenerlo limpio esparce heces ricas en sustancias con acción fungistática. Así lo describieron Kerry Mead, de la Universidad Nororiental, y sus colaboradores en un artículo titulado elocuentemente «Higiene del nido mediante la defecación» y publicado en 2013 en *Naturwissenschaften*. En cambio, *Spodoptera frugiperda*, un lepidóptero del maíz, deposita sus propias heces semilíquidas en la planta de la que se alimenta para debilitarla. Esta, al sentirse atacada por las bacterias de los excrementos, concentra sus esfuerzos inmunitarios contra ellas y se «distrae» de la defensa contra los insectos, debido a una compleja vía hormonal que activa o inhibe, alternativamente, los dos tipos de inmunidad.

Por último, hay una actividad aún más ingeniosa, que es típica de algunas especies de termitas y de las hormigas cortadoras de hojas antes mencionadas. Estos insectos utilizan sus propias heces a modo de abono, pero no de manera rudimentaria como nosotros, que nos limitamos a recoger el estiércol y a esparcirlo en el suelo, donde cultivamos después las plantas. Estos insectos actúan en simbiosis con el hongo que cultivan y del que se alimentan. El hongo produce enzimas líticas, que son ingeridas por la hormiga y liberadas con las heces. La hormiga produce con estas últimas una especie de pasta a la que incorpora restos vegetales, que son digeridos parcialmente por las enzimas líticas, y la esparce sobre el hongo. De este modo, el hongo puede absorber los nutrientes, gracias a la «digestión externa» que se produce por el paso de las enzimas a través de la hormiga y por su mezcla con las heces con las que se amasan las hojas.

UN DESECHO PRIMORDIAL

El residuo que transformó la vida terrestre

Hace 3500 millones de años, no existía el problema de los residuos en la Tierra. La atmósfera estaba compuesta de metano, dióxido de carbono, amoníaco y gases producidos por la actividad volcánica. Las primeras formas de vida medraban en condiciones anaeróbicas. Más tarde, hace 2,7 millones de años, aparecieron los primeros organismos fotosintéticos, las cianobacterias. Con ellos comenzó a acumularse el residuo al cual debemos nuestra vida, es decir, el oxígeno, el producto de desecho de la reacción en la que el CO_2, el agua y la luz se convierten en azúcares.

Durante 300 millones de años el planeta se mantuvo en equilibrio debido a que el oxígeno se unió a varios elementos, entre ellos el hierro, y no se acumuló en la atmósfera. Luego las cosas cambiaron: la atmósfera se oxigenó y las especies anaeróbicas comenzaron a sufrir, lo que probablemente les llevó a una extinción en masa (hay quien habla de holocausto del oxígeno). Sin embargo, para los organismos aeróbicos, como nosotros, aquel residuo fue un punto de inflexión. No solo porque nos permitió respirar, crecer, mutar y colonizar el planeta, sino también porque ese residuo presente en la atmósfera reacciona con los rayos solares, convirtiéndose en ozono, que filtra la radiación ultravioleta. Además, modificó radicalmente la química de nuestro planeta, lo que permitió la formación, se estima, de 2500 nuevos minerales.

SEÑALES SOCIALES

Abonos, materiales de construcción, desinfectantes: en el mundo animal las deyecciones no son solo residuos. A veces, incluso que desprendan olor resulta ventajoso, ya que pueden convertirse en un medio de información para los individuos del grupo, no solo para los depredadores. Ocurre sobre todo entre los mamíferos, que utilizan la orina y las heces para marcar su territorio o para comunicar a los demás su estado reproductor, de salud o de dominación.

El lémur saltador de pies blancos (*Lepilemur leucopus*) de Madagascar, por ejemplo, convierte los lugares de almacenamiento de sus residuos orgánicos en algo similar a nuestras redes sociales. Ello hizo que, en 2014, el canal de televisión BBC Earth se divirtiese hablando de «Faecesbook» (en inglés, *faeces* significa «heces»), con motivo de un detallado estudio sobre ese tema publicado en *Behavioral Ecology and Sociobiology* por Iris Dröscher y Peter Kappeler, ambos del Centro Alemán de Primatología en Gotinga. Mediante el olor de la orina, el lémur comunica a sus compañeros su propia identidad y su estado de reproducción o de salud, actualizando de vez en cuando las sustancias olorosas que emite. Lo hace en «lavabos públicos» específicos que, para un animal que no es especialmente sociable como él, son el lugar más eficaz para entrar en contacto con la familia, dispersa por los árboles del bosque. La conducta también despierta interés porque representa uno de los pocos casos en los que un primate prefiere las señales químicas a las visuales, que resultan menos eficaces en este animal de hábitos nocturnos.

Esos «lavabos sociales» se ubican en el centro del territorio ocupado por un grupo de lémures, pero lejos de las ramas donde los individuos duermen o comen. Dado que cada individuo deja allí información, y además también la recoge, los lavabos se utilizan para depositar en ellos los propios residuos, que luego son olfateados y lamidos. Los machos aprovechan esa comodidad y dejan allí también las secreciones de sus glándulas odoríferas, que son un reclamo sexual para las hembras, así como secreciones de significado amenazador para alejar a los rivales en la reproducción.

Algo parecido pero de significado contrario es la conducta del lémur gris del bambú (*Hapalemur griseus*), también de Madagascar, que no instala los lavabos públicos en el centro de su territorio, sino en la periferia, para marcar la propiedad y mantener alejados a los grupos rivales.

Por último, incluso algunos mamíferos reciclan sus heces para uso alimentario. Lo hacen úrsidos, marsupiales, primates e incluso los perros domésticos. El conejo produce dos tipos de heces: las que pueden (y deben) ser comidas, ya que contienen nutrientes que no han sido digeridos por completo en un primer paso a través del intestino; y un segundo tipo, del que ya no extrae nada bueno y que, por tanto, abandona. El primer tipo de materia fecal son los llamados cecotrofos, normalmente más blandos y con más olor que el segundo tipo, que inician un segundo paso por el sistema digestivo casi sin tocar el suelo, ya que el conejo los ingiere frescos, agarrándolos directamente de su ano.

En otros animales se observa un comportamiento análogo, en especial en individuos jóvenes que, al ingerir sus propias heces o (mejor) las de otros individuos, construyen un ambiente bacteriano intestinal sólido, capaz de digerir las plantas de las que se alimentan y de producir vitaminas que sirven para el mantenimiento adecuado de su metabolismo. Los elefantes lo hacen tomando las heces mediante la inserción de la trompa



ENSUCIAR PARA COMER: El lepidóptero del maíz deposita sus propias heces sobre las plantas de las que se nutre para debilitarlas.

en el intestino de un compañero adulto. En cambio, las crías de los koalas y pandas prefieren tragar las heces de la madre. En el fondo, no es una estrategia muy distinta de la que plantean algunos desde hace algunos años, quienes proponen introducir el trasplante de heces (o bacterioterapia fecal) también entre los humanos para tratar infecciones bacterianas graves mediante la restauración de una microbiota fecal saludable.

Una última razón más para ingerir las heces de los congéneres radica de nuevo en la comunicación, pero de una manera más sutil. La rata topo desnuda, o heterocéfalo, es un mamífero que vive en colonias similares a las de los insectos sociales, es decir, están dominadas por una reina, con unos pocos machos reproductores y numerosas hembras subordinadas. Durante la gestación, la reina da de comer sus propias heces a las subordinadas. Según tres investigadores japoneses, que en octubre de 2015 describieron esta observación en la reunión de la Sociedad de Neurociencia en Chicago, el objeto de este comportamiento es suministrar a las hembras altas dosis de estrógeno, y por tanto, estimularlas para cuidar de las crías de la colonia, que son todas hijas suyas. Las subordinadas tienen órganos sexuales inmaduros y niveles bajos de estrógeno en la sangre, por lo que carecen del detonante que activa los comportamientos instintivos de cuidado de las crías. Este sistema las hace gobernables por parte de la reina, que hace de ellas unas buenas niñeras.

FLORES DEL ESTIÉRCOL

Por último, están los animales que se benefician de los residuos de otros. Entre ellos, una mención de honor la merecemos los humanos. Utilizamos las heces como abono, especialmente las de los animales que criamos, aprovechando su contenido en nitrógeno y fósforo y su abundante materia orgánica para enriquecer el suelo. De este modo, antes del desarrollo de un método industrial de producción de amoníaco, importábamos grandes cantidades de guano a Europa desde Sudamérica para nuestra agricultura. Seguimos usando estiércol o purines para cultivar los campos y huertos. Pero también aprovechamos las heces como combustible para estufas y chimeneas y, recientemente, para producir biogás. Asimismo, existen usos menos conocidos pero más creativos, tales como la producción de papel para periódicos y revistas como esta.

Otros animales que nos siguen de cerca, o que viven con nosotros en nuestras ciudades, se alimentan de nuestros residuos, lo queramos o no, y a menudo sin que nos demos cuenta. Son ratas, ratones, insectos, gaviotas, aves diversas. Y gorriones de ciudad. Lo demostró Montserrat Suárez Rodríguez, de la Universidad Nacional Autónoma de México, que en 2012 publicó en *Biology Letters* una investigación sobre las aves que anidan en el campus universitario y en las zonas verdes de alrededor. Los gorriones habrían empezado a utilizar colillas de cigarrillos para construir el nido, mostrando así una variante urbana de una adaptación antigua: aquella que prioriza los materiales de construcción que contienen compuestos que mantienen alejados a los parásitos. Los análisis demostraron que cuanto mayor era la cantidad de acetato de celulosa (contenido en las colillas) en el nido, menor era la cantidad de huéspedes no deseados. Pero tenían que ser colillas de cigarrillos que hubieran sido fumados, impregnadas de nicotina, que es un repelente para los parásitos y quizá no lo sea (aunque esto no está demostrado) para los gorriones y sus crías.

Al final, visto desde una perspectiva menos antropocéntrica, hay que reconocer que el poeta Fabrizio De André tenía razón: del estiércol nacen las flores, no los problemas. Porque cada especie ha de ocuparse de sus propios residuos. Descartarlos rápidamente es solo una de las posibles estrategias. Pero si cada una depende de un delicado equilibrio entre costes y beneficios, la selección natural ha premiado a veces los comportamientos de reciclaje, que a menudo son los que producen un mayor beneficio con el mínimo costo. Y los ha premiado tanto si los residuos son propios como si son ajenos.

Si ampliamos aún más la mirada, no hallamos ninguna sorpresa: todos vivimos en el mismo planeta, por el que siempre circulan más o menos los mismos compuestos. Que se ha favorecido su aprovechamiento por los animales resulta evidente. Porque si estamos vivos es gracias a los residuos del metabolismo de las plantas, que nosotros «reciclamos» respirándolos a pleno pulmón: ellas lo consideran un residuo, nosotros lo llamamos oxígeno. IyC

PARA SABER MÁS

Fungus-farming insects: Multiple origins and diverse evolutionary histories. U. G. Mueller y N. Gerardo en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99, n.º 24, págs. 15247-15249, noviembre de 2002.

Corpse management in social insects. Q. Sun y X. Zhou en *International Journal of Biological Sciences*, vol. 9, n.º 3, págs. 313-321, 2013.

The funeral ways of social insects. G. O. López Riquelme y M. L. Fanjul Moles en *Trends in Entomology*, vol. 9, págs. 71-129, 2013.

Nest sanitation through defecation: Antifungal propierties of wood cockroach feces. K. Mead et al. en *Naturwissenschaften*, vol. 100, n.º 11, págs. 1051-1059, noviembre de 2013.

Ant colonies prefer infected over uninfected nest sites. Luigi Pontieri et al. en *PLoS ONE*, vol. 9, n.º 11, e111961, 2014.

Nest etiquette. Where ants go when nature calls. Tomer J. Czaczkes, Jürgen Heinze, Joachim Ruther en *PLoS ONE*, vol. 10, n.º 2, e0118376, 2015.

por Marc Boada Ferrer

Marc Boada Ferrer es divulgador científico y experto en ciencia experimental.



Motores mínimos (I)

Cinco motores extraordinariamente simples permiten demostrar toda una variedad de principios físicos

Hace ya más de una década, mi buen amigo Julio Güémez, profesor de la Universidad de Cantabria, me dejó boquiabierto: tomó una pila de 1,5 voltios, un pequeño imán, un clavo de acero y un retal de hilo de cobre y, con estos elementos, construyó ante mis ojos un motor eléctrico. «Es el motor homopolar», me explicó. Caí fascinado ante lo simple de aquel artefacto: constaba solo de lo imprescindible para funcionar; nada le era superfluo. Se trataba, sin duda, del motor más sencillo imaginable. Aquel día, en secreto y ante el imán girando a toda velocidad, decidí investigar más motores mínimos.

Lo que sigue es el resultado de esa exploración. Como veremos, la búsqueda de la simplicidad experimental deja un enorme campo abierto al científico aficionado, al docente o al alumno que desee enfrascarse en un trabajo de investigación. Pospondremos los detalles del motor homopolar para una próxima colaboración, en la que nos centraremos en él y en todas sus variantes, y empezaremos por los motores mínimos más humildes.

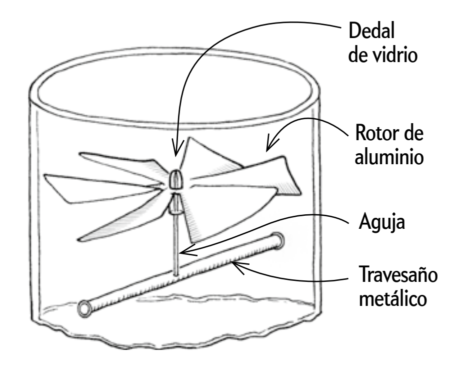
En realidad, a todos nos gustan los motores mínimos. ¿Quién no ha jugado alguna vez con un **molinillo de viento**? Tomamos un papel cuadrado, hacemos cuatro cortes y otros tantos dobleces, y atravesamos el centro con una aguja que insertamos en un palo. Al orientarlo contra el viento, nuestro rotor girará veloz y silencioso: un juguete didáctico que deja embelesados a pequeños y mayores.

Sin embargo, el experimentador descubrirá pronto que este pequeño ingenio deja mucho que desear. El agujero central se desgasta con rapidez y el rotor empieza a cabecear: una señal de que el punto de rotación requiere mejoras. Y si el molinillo se deja fijo (por ejemplo, clavándolo en una maceta), será necesario incorporar algún sistema que lo oriente hacia el viento, ya que de lo contrario perderemos la fuerza motriz.

Es aquí donde comienzan las dificultades técnicas. ¿Cuál será el sistema de giro más simple? ¿Y cuál el método de orientación óptimo? ¿Puede mejorarse el diseño del rotor? El reto consiste en resolver estas dudas con una economía de medios espartana. Por lo demás, el molinillo de viento resulta encantador: transforma la energía cinética «lineal» del viento en energía cinética de rotación, la cual resulta fácil de convertir en trabajo aprovechable. Como ejemplo de sus aplicaciones, pensemos en molinos harineros de viento, en las bombas de agua eólicas o en los aerogeneradores.



TORRE TERMOSOLAR: El aire caliente asciende por el interior del tubo y acciona un diminuto rotor. La clave de su buen funcionamiento reside en el bajo rozamiento del buje: un pequeño dedal de vidrio apoyado sobre una fina aguja. Abajo detalle del rotor y del eje de giro.



Más allá del desafío eólico, podemos plantearnos otros retos. ¿Será posible aprovechar la energía solar? Hay pocos motores que conviertan la radiación solar en energía mecánica, y menos aún que lo hagan de forma sencilla. Quizás el más básico sea la **torre termosolar**, también conocida como **motor de Leonardo**. Su nombre se debe a uno de los inventos del gran visionario renacentista: un dispositivo automático para asar la carne al fuego. Este empleaba como fuerza motriz el aire caliente que ascendía por una chimenea, el cual hacía girar unas aspas que, a su vez, daban vueltas al asado.

Nosotros haremos algo muy similar: una réplica en miniatura de las gigantescas instalaciones que hoy en día aprovechan el calor del sol para generar una corriente de aire ascendente y, de esta manera, accionar un rotor al que se conectan generadores u otras máquinas.

El diseño de este motor es simple. Se compone de un largo tubo vertical (yo empleé metacrilato, aunque puede fabricarse con cualquier material) en cuyo interior se coloca un rotor parecido a las aspas de un ventilador doméstico en miniatura. Para fabricarlo, cortaremos un disco de chapa de aluminio de dos o tres décimas de milímetro de espesor, el cual deberá tener un diámetro ligeramente inferior al del interior del tubo. En su centro haremos un agujero de unos 3 o 4 milímetros de diámetro; después, practicaremos seis cortes radiales, equidistantes y que lleguen casi al agujero central y, con unos alicates, los doblaremos para que adopten un aspecto de hélice. Por último, en el orificio central



LOS CINCO MOTORES cuya construcción y funcionamiento se describen en este artículo. De izquierda a derecha: molinete electrostático, torre termosolar, radiómetro de Crookes, molinillo de viento y motor de Franklin.

engastaremos un pequeño dedal de vidrio, el cual descansará invertido en la punta de una aguja.

Ese dedal ejercerá una función clave tanto en este motor como en otro de los que describiremos más abajo, por lo que merece la pena detenerse un minuto en él. Para fabricarlo, buscaremos un tubo de vidrio de laboratorio de 4 o 5 milímetros de diámetro. En mi caso solo disponía de uno de 8 milímetros, por lo que me vi obligado a reducirlo. El proceso es el mismo que el que seguiríamos para hacer un cuentagotas. Primero se calienta el tubo sobre la llama de un mechero Bunsen girándolo entre los dedos y, una vez caliente, se estira hasta que alcance el diámetro deseado. Luego se deja enfriar, se rompe, se cierra el extremo al calor de la llama y se recorta después con una pequeña lima de diamante. Durante el proceso resulta práctico emplear una varilla de hierro con punta semiesférica y cuyo diámetro coincida con el diámetro interior deseado del tubo (unos 4 milímetros, en nuestro caso). Tras introducir la varilla en el tubo de vidrio, podremos moldear más fácilmente nuestro diminuto dedal. Como el lector imaginará, no se consigue a la primera. Yo tuve que hacer varias decenas, cada uno más pequeño que el anterior, hasta conseguir uno útil.

Al colocarlo invertido sobre una aguja, nuestro pequeño dedal de vidrio presenta un rozamiento extraordinariamente bajo. Tanto es así que, en el caso del motor termosolar, comprobaremos cómo el rotor comienza a girar con solo poner la mano a algunos centímetros bajo la boca inferior del tubo. En el modelo que mostramos aquí, el tubo se ha instalado sobre una semiesfera de metacrilato con grandes perforaciones, dentro de la cual hay otra semiesfera de aluminio pintada de negro con un espray. La función de estas semiesferas es producir un intenso efecto invernadero: la de aluminio absorbe la radiación solar y calienta el aire circundante; este, que no puede escapar, pues se lo impide la esfera de metacrilato, asciende por el tubo y hace girar el rotor.

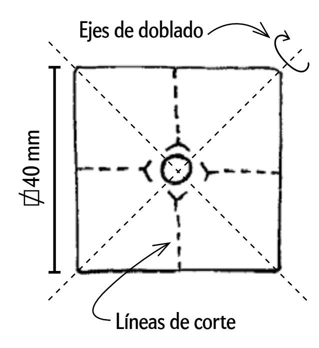
Al situar el instrumento ante una ventana soleada podremos ver que, en efecto, el rotor se mueve con rapidez. Si, además, hay un radiador bajo la ventana, podremos fijar el tubo al vidrio con unas ventosas: será un practico método de detectar si tenemos la calefacción en marcha. Una versión de poco tamaño colocada sobre cualquier fuente de calor residual se mantendrá en constante rotación. Acabamos de construir un motor que funciona gracias al movimiento ascensional de aire caliente y que, si lo hace tan bien, es gracias al exiguo rozamiento del soporte.

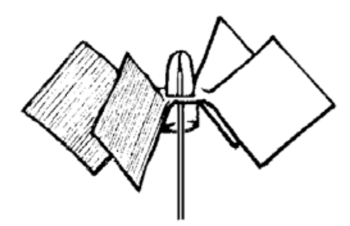
Ese soporte de cristal, que recuerda a un pequeñísimo tubo de ensayo, resultará clave si lo que queremos es dar un paso más y construir uno de los motores

mínimos más bellos: **el radiómetro de Crookes**, conocido también como **molinillo solar**. Antes de proseguir, debemos advertir de que nadie debería intentar fabricar este motor si no dispone de una buena bomba de vacío y de una voluntad inquebrantable.



RADIÓMETRO DE CROOKES: Uno de los motores mínimos más difíciles de construir. El que mostramos aquí ha sido instalado en el interior de un tarro de mermelada en el que previamente se ha hecho el vacío. Abajo, líneas de corte para la fabricación del rotor (*esquema superior*) y detalle del dispositivo montado sobre su eje de giro (*inferior*).





Aspecto con las aletas dobladas

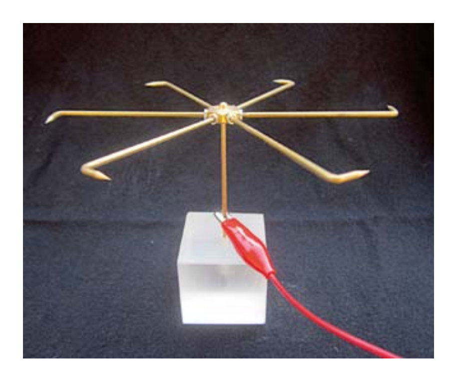
Este aparato consta de un rotor de cuatro palas colocadas en posición vertical, reflectantes por una cara y de color negro mate por la otra. Encerrado al vacío en una ampolla de vidrio, el rotor girará cuando quede expuesto a una fuente de luz intensa. Al contrario de lo que quizá cabría pensar, su movimiento no obedece a la presión de radiación de la luz incidente, sino a la diferencia de temperatura entre las moléculas de aire residuales situadas a ambos lados de cada paleta. En este caso, las fuerzas motrices son tan diminutas que el rozamiento debe ser mínimo. Por esa razón, el dedal de vidrio se torna aquí imprescindible.

Una vez hayamos preparado un nuevo dedal siguiendo las instrucciones que dábamos más arriba, procederemos a fabricar el rotor del radiómetro. En una chapa de aluminio de pocas décimas de milímetro de espesor, cortaremos un cuadrado de 40 milímetros de lado y puliremos una de sus caras hasta dejarla como un espejo. Para ello podemos utilizar pulimento líquido para carrocerías o un disco rotatorio de trapo con pulimento en pasta. Marcamos las líneas de corte y, en el centro, practicamos un agujero algo menor que el dedal. Luego cortamos las paletas con un cúter y, con unas tenazas de puntas, las doblamos 90 grados hasta que queden verticales. Lógicamente, deberemos observar una perfecta simetría entre las palas y armarnos de paciencia para equilibrar un elemento tan liviano. Tras ello solo nos quedará introducir el dedal en el agujero de la chapa de aluminio, asegurar su posición con una gota de cianocrilato y ennegrecer la cara no pulida de los álabes con la llama de una vela.

Entretanto habremos preparado el recipiente de vacío. Lo más práctico quizá sea tomar un pequeño bote de conservas, taladrar su tapa y conectarlo a una bomba de vacío. En nuestro caso hemos usado componentes de fontanería y soldado con estaño todas las conexiones, ya que garantizar un buen vacío es imprescindible. Más aún: no cualquier bomba nos servirá. La mía, más bien sencilla, solo lograba un vacío suficiente para que el rotor girase muy despacio bajo la luz del sol. Todo pareció mejorar cuando introduje en el tarro unos trozos de sodio metálico que, al parecer, absorbieron algunos gases. El experimentador falto de una bomba de vacío potente puede investigar en esta línea: la absorción de gases residuales por vía química. Pese a todas estas dificultades, el esfuerzo vale la pena; pocos motores mínimos hay con mayor magia que el radiómetro. Además, su construcción nos habrá permitido ganar una importante experiencia con las técnicas de bajo rozamiento.

Así pues, cambiemos de fuerza motriz pero sin abandonar los montajes basados en la suspensión en punta. Hay un motor mínimo que lleva más de dos siglos rondando por los laboratorios docentes: el **molinete electrostático**. Consta de un rotor dotado de dos o más radios metálicos terminados en finísimas puntas, que, conectado a una fuente de alta tensión, girará en dirección contraria a ellas.

El rotor debe construirse en torno a una pieza central de latón en la que habremos practicado un agujero cónico tan profundo como sea posible. En su perímetro, y por cualquier medio, montaremos dos o más varillas de idéntica longitud, muy bien afiladas y con las puntas dobladas



MOLINETE ELECTROSTÁTICO: Motor accionado por el efecto punta. El principal reto consiste en lograr un equilibrado perfecto entre los radios del rotor.

90 grados. El prototipo que reproducimos aquí cuenta con seis de tales puntas.

El reto consiste en equilibrar bien el rotor y en hacer las puntas casi perfectas. Antes, de hecho, al hablar del dedal de vidrio, casi no hemos mencionado la aguja que lo soporta. Cuando esta puede ser delgada y no demasiado larga, lo mejor es utilizar una simple aguja de coser. Sin embargo, para construir el molinete eléctrico necesitaremos un soporte más alto y rígido.

Cualquier varilla metálica puede aguzarse colocándola en el portabrocas de un taladro y haciéndola girar bajo un ángulo muy agudo sobre papeles abrasivos cada vez más finos. Al final, podremos pulirla con un disco de trapo hasta dejarla abrillantada. El criterio es que una buena aguja debe clavarse sin dificultad

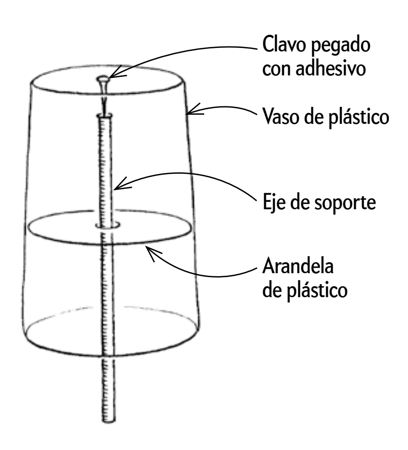
en la piel de los dedos y marcar fácilmente la uña.

Así pues, buscaremos una varilla de acero de dos o tres milímetros de diámetro y, una vez aguzada, la fijaremos a una base aislante; en nuestro caso, un cubo de metacrilato. Montaremos sobre ella el rotor, dejándolo descansar sobre la aguja y colocando esta en el interior del agujero cónico que habíamos hecho en la pieza central de latón.

Por último, con unas pinzas de cocodrilo, conectaremos la aguja a un generador electrostático. Con una máquina de Wimshurst, típica de laboratorio escolar, el molinillo funcionará a la perfección, si bien resultará insensible a cargas electrostáticas muy reducidas.



MOTOR DE FRANKLIN: Eficiente y fácil de construir, este motor opera gracias a la acumulación de carga eléctrica en una de las escobillas y su transmisión al polo opuesto. El bajo rozamiento se consigue mediante un clavo bien afilado, apoyado sobre una varilla en cuyo extremo superior habremos practicado un fino agujero. Aquí mostramos una versión de bajo coste construida en un laboratorio escolar. Abajo, detalle del interior del dispositivo



Este motor funciona por efecto punta; es decir, por la acumulación de carga en las finas puntas de metal. El intenso campo eléctrico generado por dicha acumulación ioniza las moléculas del aire circundante, que, al adquirir una carga del mismo signo, genera una ligera repulsión. Con todo, la masa del rotor y el rozamiento con el cubo central de latón condicionarán una baja velocidad de giro.

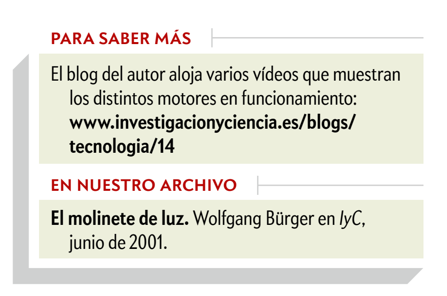
Por suerte, y sin abandonar la alimentación electrostática para nuestros motores, podemos optar por otros diseños más eficientes. Uno de ellos es el **motor de Franklin**, un motor mínimo que, además de funcionar gracias a la repulsión entre cargas, también las transporta, por lo que goza de un movimiento más regular y rápido. Los primeros modelos se hacían con latón, médula de saúco o pan de oro, pero en pleno siglo XXI disponemos de materiales mucho mejores.

Construiremos la parte giratoria con un vaso de plástico. En el centro de la base haremos un agujero, por el cual introduciremos y pegaremos un pequeño clavo al que habremos aguzado la punta. En el interior, a media altura, fijaremos un disco de plástico con un orificio central, por este pasará una varilla vertical que hará las funciones de eje. En el exterior del vaso pegaremos tiras de cinta metálica autoadhesiva. La varilla vertical tiene, en su cara plana superior, un diminuto orificio cónico practicado con la punta de una broca de dos o tres milímetros. En él se alojará el clavo que antes habíamos pegado al fondo del vaso.

Después buscaremos una base de material plástico y haremos en ella tres agujeros con un taladro. El del centro alojará la varilla vertical, mientras que los otros dos servirán para albergar sendos alambres de cobre que, rematados por unos hilos más finos, ejercerán de escobillas. Por último, al conectar cada uno de ellos a un polo de un generador, el vaso comenzará a girar. La sensibilidad de este minúsculo motor de Franklin es tanta que, para que funcione, basta con la pantalla de un televisor de rayos catódicos. Solo hace falta cubrir la pantalla con papel de aluminio, conectarla a un polo del motor, unir el otro a una toma de tierra y... ¡listo!

¿Qué mecanismo acciona el dispositivo? Cuando conectamos una de las escobillas a cualquier elemento con carga eléctrica, la tira metálica más próxima a la escobilla adquirirá la misma carga, por lo que aparecerá una fuerza de repulsión. El vaso girará una fracción de vuelta y expondrá una nueva tira metálica a la escobilla. Poco a poco, las tiras metálicas cargadas se acercarán a la segunda escobilla, conectada a tierra, por lo que experimentarán una atracción que se sumará a la repulsión anterior. Por supuesto, las tiras se descargan al llegar a ella y vuelven a cargarse al regresar a la primera escobilla. El ciclo se repite una y otra vez. Dependiendo de la bondad de la construcción, el movimiento puede llegar a acelerarse de forma espectacular.

Hasta aquí nuestra primera entrega, dedicada a los motores más simples. Sin embargo, la búsqueda continúa: hacemos un llamamiento a todos aquellos lectores que conozcan otros artefactos capaces de convertir pequeñas cantidades de energía en movimiento mecánico para que nos envíen sus descripciones y sugerencias. Pueden hacerlo en forma de comentario en el blog del autor o mediante un correo electrónico a redaccion@investigacionyciencia.es. Con un poco de suerte, aparecerán en estas mismas páginas.



PARA SABER MÁS

El blog del autor aloja varios vídeos que muestran los distintos motores en funcionamiento: **www.investigacionyciencia.es/blogs/tecnologia/14**

EN NUESTRO ARCHIVO

El molinete de luz. Wolfgang Bürger en *IyC*, junio de 2001.

por Alejandro Pérez Carballo



Alejandro Pérez Carballo es profesor de filosofía en la Universidad de Massachusetts en Amherst.

Razonamientos impecables, decisiones equivocadas (II)

El dilema del pensamiento racional

En nuestra última columna consideramos situaciones como la siguiente:

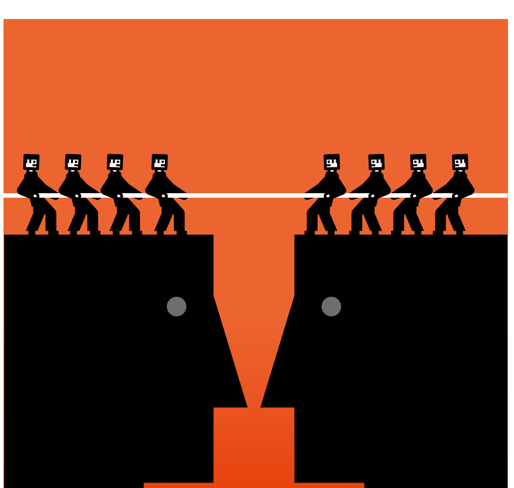
> El lunes le dicen que, o bien tendrá que pasar por una operación de dos horas sin anestesia el martes, o bien será sometido a una operación de una hora sin anestesia el jueves. Ambos tratamientos provocan una amnesia transitoria que, al día siguiente, le impedirá recordar si la operación tuvo lugar o no. Una mañana, al despertarse, descubre que es miércoles. En ese momento no recuerda haber pasado por el quirófano el día anterior.

¿Preferiría averiguar que la operación de dos horas tuvo lugar ayer, o descubrir que la de una hora (menos dolorosa) ocurrirá mañana? Si elige lo primero, entonces sus preferencias están sesgadas hacia el futuro [*véase* «Razonamientos impecables, decisiones equivocadas», por Alejandro Pérez Carballo; Investigación y Ciencia, octubre de 2016]. También concluimos que, aunque sus preferencias no estén sesgadas hacia el futuro, debería reconocer que parece perfectamente razonable pensar así.

Por otro lado, también parece razonable tener aversión al riesgo: por ejemplo, preferir una apuesta que cueste 80 euros y pague 160 la mitad de las veces, a una que cueste 100 y reembolse 200 con la misma probabilidad. En general, la aversión al riesgo hace que una persona se incline a sacrificar algo de dinero (en este caso, la diferencia entre la ganancia esperada de cada apuesta) a fin de evitar que las consecuencias negativas sean mucho peores que las positivas.

Por último, también vimos que, si usted tiene preferencias sesgadas hacia el futuro y también aversión al riesgo, puede verse en una situación en la que una serie de decisiones perfectamente racionales desemboquen en un resultado contraproducente. En el ejemplo que consideramos le ofrecían dos pastillas: una el lunes y otra el martes. Los detalles de la oferta eran tales que, dadas sus preferencias, sería irracional rechazar la pastilla el lunes y también el martes. Sin embargo, las consecuencias de tomar ambos medicamentos eran, desde su propia perspectiva, peores que las de no hacerlo.

¿Qué decir? Al respecto se han propuesto cuatro opciones. Consideremos cada una por separado.



La combinación es irracional

Comencemos por la posibilidad que, a mi parecer, es la menos atractiva: la idea de que, si bien tener sesgo hacia el futuro es racional, y también lo es la aversión al riesgo, no ocurre así con la combinación de ambas.

Esta opción cuenta con una gran ventaja: nos permite rescatar la racionalidad del sesgo hacia el futuro y también la de la aversión al riesgo. Además, parece constituir un ejemplo de un fenómeno bastante más general, ya que no siempre la combinación de dos preferencias racionales da lugar a una preferencia racional. Por ejemplo, no hay ningún problema en preferir un día en la playa a uno en la montaña. Y tampoco lo hay en preferir un día en la montaña a uno en la playa. Sin embargo, lo que no es razonable —más aún, resulta incomprensible— es preferir ambas cosas a la vez.

El problema con esta alternativa es que no ofrece ninguna explicación de por qué la combinación del sesgo hacia el futuro y la aversión al riesgo es irracional. Cierto: si tiene preferencias sesgadas hacia el futuro y aversión al riesgo, puede encontrarse frente a una serie de decisiones que, al resolverlas de manera racional y conforme a sus preferencias, acabarán resultándole contraproducentes. Y tal vez eso pueda interpretarse como un *síntoma* de que existe algún problema con la combinación de ambas preferencias. Pero, a menos que dispongamos de una explicación que señale dónde se encuentra el error, esta propuesta no parece del todo satisfactoria.

La aversión al riesgo es irracional

¿Podría ocurrir que la aversión al riesgo fuese irracional? Según la teoría de la decisión clásica, al considerar dos opciones hemos de elegir aquella con la mayor utilidad esperada. Supongamos que, ante un dilema monetario, la utilidad que asignamos a cada opción coincide con la ganancia. En tal caso, la teoría de la decisión nos dice que, al sopesar dos apuestas cualesquiera, deberíamos preferir aquella con una mayor ganancia esperada.

Imagine que le ofrecen participar en un sorteo que cuesta 100 euros y que reembolsa 300 con una probabilidad del 50 por ciento. Acto seguido, le proponen

otro que cuesta 100 euros y que paga 400 con la misma probabilidad. La ganancia esperada del primer sorteo es de 50 euros, mientras que la del segundo es 100. Según la teoría de la decisión, debería decantarse por este último.

Ahora suponga que le ofrecen 90 euros si rechaza ambas apuestas. Si usted tiene aversión al riesgo, es probable que elija esta opción: preferirá asegurarse 90 euros a afrontar el riesgo de perder 100 con una probabilidad del 50 por ciento. (Si no lo ve tan claro, multiplique cada una de las cifras por 10 o por 100: ¿no estaría dispuesto a aceptar 9000 euros en lugar de pagar 10.000 para tener una probabilidad del 50 por ciento de ganar 40.000? ¿Y si multiplica las cantidades por 1000?)

Por tanto, si usted tiene aversión al riesgo, preferirá la tercera opción a la segunda, aun cuando esta conlleva una utilidad esperada mayor. Pero eso es justamente lo contrario de lo que sugiere la teoría de la decisión clásica. Así pues, parecería que la teoría de la decisión implica que la aversión al riesgo es irracional.

El problema con este argumento es que se apoya en una premisa muy sospechosa: que la utilidad asignada a cada opción viene determinada por una función lineal de la ganancia. Eso supone, por ejemplo, que usted debería otorgar la misma utilidad a un euro tanto si dispone de 20 millones en el banco como si no tiene un céntimo a su nombre. No obstante, la manera en que valoramos una cantidad de dinero depende de nuestra riqueza: cuanto más tenemos, menos utilidad le otorgamos a cada euro adicional. Este fenómeno es bien conocido por los economistas, quienes lo expresan diciendo que el dinero tiene una «utilidad marginal decreciente».

Lo anterior puede verse reflejado de manera bastante clara en nuestras actitudes hacia el riesgo. Supongamos que la utilidad de n euros viene dada por $\sqrt{n}$, una función que satisface el principio de utilidad marginal decreciente. En tal caso, si bien la ganancia esperada de recibir 90 euros es menor que la de una apuesta que cuesta 100 y paga 400 con una probabilidad del 50 por ciento, la utilidad esperada de la primera opción:

$$\sqrt{90} = 9{,}49$$

es mayor que la de la segunda:

$$\frac{-\sqrt{100} + \sqrt{300}}{2} = 3{,}66\ .$$

Podríamos entonces decir lo mismo cuando, en vez de dinero, consideramos minutos de dolor, como en el ejemplo de la columna anterior. En general, siempre podremos definir una «función de utilidad» $f(n)$ tal que la utilidad esperada de una opción que implica cierto tiempo de dolor, n_1, sea mayor que la utilidad esperada de una que conlleva un tiempo de dolor menor, $n_2 < n_1$. En otras palabras, no parece imposible que, bajo alguna definición sensata del concepto de utilidad, una decisión racional nos lleve a elegir una opción que implique un mayor número esperado de minutos de sufrimiento.

El sesgo hacia el futuro es irracional

¿Tal vez lo irracional sea el sesgo hacia el futuro? Recordemos que dicho sesgo no solo se manifiesta en las situaciones fantásticas que hemos contemplado hasta ahora. Por ejemplo, a una gran parte de nosotros nos llena de ansiedad pensar en un futuro en el que la humanidad entera habrá dejado de existir. Sin embargo, nos resulta del todo indiferente aceptar que, durante la mayor parte de la historia pasada del universo, la humanidad nunca existió. Si el sesgo hacia el futuro es irracional, entonces la mayoría de nosotros somos irracionales.

De hecho, hay buenas razones para pensar que todos sucumbimos ante sesgos cognitivos que nos impiden actuar de manera completamente racional. Un ejemplo famoso nos lo proporciona la «falacia del jugador»: después de haber tirado un dado diez veces sin lograr un seis, usted se dice a sí mismo que la probabilidad de obtener un seis en el próximo turno ha de ser mayor que 1/6.

El lector de sangre fría y ducho en estadística dirá que él no es víctima de tales falacias. Pero el consenso entre psicólogos y economistas conductuales es que la mayoría de las personas —cultivadas en estos asuntos o no— cometemos errores de este tipo con más frecuencia de lo que nos gustaría admitir.

Hay, sin embargo, una diferencia importante entre la falacia del jugador y el sesgo hacia el futuro. Aunque a veces podamos dejarnos llevar por la primera, un poco de reflexión nos permite reconocer que hemos cometido un error, un *lapsus brutus*. En cambio, en el caso de las preferencias sesgadas hacia el futuro, no resulta tan sencillo ver dónde nos hemos equivocado: por más que me concentre en el hecho de que una hora de dolor es una hora de dolor, sigo prefiriendo que haya pasado a que me aguarde en el futuro. Resulta increíble pensar que somos irracionales por querer dejar atrás los momentos difíciles de nuestra vida.

¿Tiene un coste el pensamiento racional?

Recordemos la estructura de las decisiones a las que debíamos enfrentarnos. El lunes tiene la opción de tomar o no una pastilla roja. El miércoles puede elegir entre tomar o no una pastilla azul. Las condiciones son tales que, el lunes, usted preferirá tomar el medicamento rojo pase lo que pase el miércoles. Y, el miércoles, preferirá tomar el fármaco azul con independencia de lo que haya ocurrido el lunes. Por tanto, acabará tomando ambos. El problema es que, desde su punto de vista —y tanto si evalúa la situación el lunes como si lo hace el miércoles— la decisión más favorable es la que se deriva de tomar el medicamento rojo el lunes y rechazar el azul el miércoles.

Esta situación es análoga a la del dilema del prisionero [*véase* «Dilemas cooperativos e inducción hacia atrás», por Alejandro Pérez Carballo; Investigación y Ciencia, junio de 2013]. En este caso, si los dos detenidos toman sus decisiones basándose en criterios estrictamente racionales, ambos acabarán confesando con independencia de lo que haga el otro. Sin embargo, ateniéndose a esos mismos criterios, los dos preferirán el resultado que se deriva de la situación en la que ninguno de ellos confiesa.

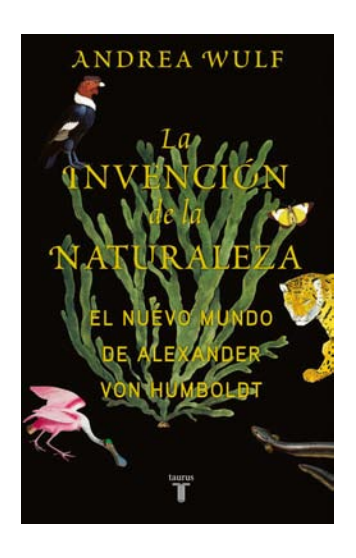
Si bien aquí la historia adquiere tintes trágicos (ambos podrían ser inocentes), no parece que ninguno de los prisioneros haya cometido un error. Cabe decir que lo mismo ocurre con la decisión de tomar ambas pastillas. Por tanto, tal vez no nos quede más remedio que admitir que, en ocasiones, actuar de manera racional conlleva un coste importante. IyC

PARA SABER MÁS

Tom Dougherty ha ofrecido hace poco un argumento interesante sobre la irracionalidad del sesgo hacia el futuro en **Future bias and practical reason**; *Philosophers' Imprint*, vol. 15, n.º 30, 2015. Un análisis más general del sesgo hacia el futuro es el que hace Caspar Hare en **Time — The emotional asymmetry**; *A companion to the philosophy of time*, dirigido por H. Dyke y A. Bardon, John Wiley and Sons, 2013.

EN NUESTRO ARCHIVO

El juego del diablo. Agustín Rayo en *IyC*, octubre de 2010.



LA INVENCIÓN DE LA NATURALEZA
EL NUEVO MUNDO DE ALEXANDER VON HUMBOLDT
Andrea Wulf
Taurus, 2016

Humboldt: ahora es verde

Todo está conectado con «mil hilos»

¿Hace falta otra biografía de Alexander von Humboldt? Andrea Wulf piensa que sí. Y parece que el éxito editorial que tuvo su libro en Estados Unidos le da toda la razón. Publicado en 2015, *The invention of nature* recibió muy buenas críticas y varios premios, de tal manera que la editorial se atrevió a traducir el libro a casi diez idiomas a la vez, incluido el castellano, para conquistar el mercado mundial.

La gran virtud del libro es su estilo. Wulf escribe muy bien, con gran fluidez, gancho y buen ojo para el detalle interesante. Aunque la obra abarca casi 600 páginas, se lee como una novela, llena de drama y aventuras, de retos y descubrimientos. Así fue la larga vida de Alexander von Humboldt (1769-1859).

Pero la autora quiere algo más que escribir una biografía apasionante. Un momento clave para Humboldt —según el libro— fue su ascensión al Chimborazo, considerado por entonces la cumbre más alta del mundo. Desde allí, Humboldt logró una perspectiva holística de la naturaleza. Esta tesis no es nueva, pero Wulf construye toda su narrativa alrededor de ella. Su conocimiento enciclopédico en geografía, botánica y zoología, pero sobre todo la experiencia ganada en su largo viaje por Sudamérica (1799-1804), permitieron a Humboldt percibir las múltiples interconexiones entre los procesos naturales. Para Wulf, su *Ensayo sobre la geografía de las plantas* es el «primer libro ecológico». Y si todo está conectado con «mil hilos», como decía él, la deforestación o la sobrepesca de las aguas amenaza ecosistemas enteros, un término que por entonces no existía, pero que Humboldt ya describió. La visión holística de Humboldt identificó el impacto pernicioso de las acciones del hombre. Según Wulf, fue el primero en señalar la conexión entre el colonialismo y la destrucción del medio.

Otro punto fuerte de la obra de Wulf es su acertada contextualización histórica. La autora perfila de manera cautivadora las estrechas conexiones entre la investigación de la naturaleza y las revueltas políticas de la primera mitad del siglo XIX. Uno de los grandes admiradores de Humboldt fue Simón Bolívar. Gracias al contacto personal y a la lectura de sus fascinantes relatos de viaje, Bolívar empezó a descubrir la belleza de su propia tierra, para convertirse más tarde en el «libertador» de Sudamérica.

Wulf demuestra el denso entrelazamiento internacional de Humboldt, quien cada año escribe miles de cartas y recibe aún más. Conocía a todos: el presidente Jefferson lo invitó a la Casa Blanca y, para el rey de Prusia, el barón Von Humboldt representaba la gran atracción de su corte. Ejercer de cortesano durante décadas no resultaría fácil para este republicano convencido.

Humboldt fue una «academia en persona», como lo definía un coetáneo, una bestia multidisciplinar que trabajó día y noche hasta su muerte, acaecida cuando contaba casi noventa años. Sabía manejar un sinfín de información y sintetizarla. No importaba que el gran divulgador de la ciencia no fuese capaz de manejar sus propias finanzas, a pesar de su enorme herencia y de varios superventas internacionales. Prefería ayudar a científicos jóvenes.

En su retrato de Humboldt, Wulf dibuja solo unas pequeñas sombras. A veces su lengua fue muy venenosa, y su fama creciente le llevó a cultivar una cierta arrogancia. Era un parlanchín de primera, y en varios idiomas. En los salones de París y, más tarde, en los de Berlín, hablaba sin parar. Escuchar no era su fuerte. Lo pudo constatar Charles Darwin en 1842: en una reunión de varias horas en Londres, el joven naturalista inglés apenas logró insertar unas palabras que, enseguida, generaron un nuevo discurso del alemán.

El libro de Wulf concluye con un análisis del impacto intelectual de Humboldt en Estados Unidos. Puede que los capítulos sobre tres pioneros del movimiento ambientalista estadounidense, Henry David Thoreau, George Perkins Marsh y John Muir, no cobren tanto sentido en las versiones traducidas de la obra, pero la intención de la autora ha sido rescatar a Humboldt del olvido en el que ha caído en Estados Unidos —algo quizá menos necesario en los países castellanohablantes—. No fue siempre así. En el primer centenario del naturalista, en 1869, hubo celebraciones multitudinarias en todo el mundo, las más grandes de las cuales tuvieron lugar en Nueva York, San Francisco y Chicago.

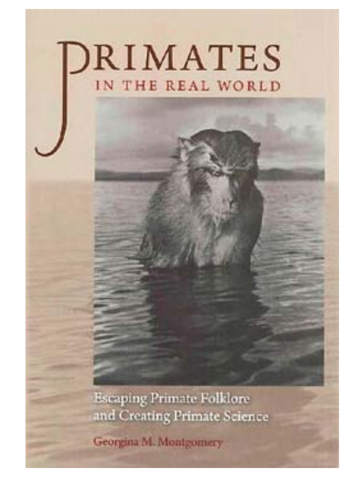
El rey de Prusia le llamó «el hombre más grande desde el diluvio». De hecho, parece muy difícil evitar los superlativos al hablar de Humboldt, y más aún en una biografía dirigida al gran público. Pero, en ocasiones, a Wulf le falta tomar cierta distancia con respecto a las fuentes. La autora reproduce muchos de los elogios sobre la persona de Humboldt sin cuestionarlos: su insaciable curiosidad y vocación por investigar, su aguante casi sobrehumano en sus viajes por la selva tropical o en los Andes, su infatigable energía y productividad. Pero todo eso son estilizaciones de la caja de construcción de héroes. Obviamente, Humboldt fue un naturalista extraordinario, pero hay que preguntarse cómo se construye el personaje.

Hace ya más de diez años que el historiador de la ciencia Nicolaas Rupke publicó su «metabiografía» de Humboldt. Tomando el ejemplo del alemán, mostraba que los héroes científicos son «inestables»; sus imágenes cambian sin cesar. En los últimos 150 años, nuestra superestrella ha sufrido incontables intentos de apropiarse de su persona. En Alemania lo intentaron los nacionalistas y después los nazis, en la RDA destacaron su anticolonialismo, y en la Alemania ac-

tual sirve casi para todo, en particular, como referencia de un «buen alemán».

Dado el cambio climático antropogénico y la progresiva destrucción del entorno, no sorprende que ahora —de hecho, desde hace años— se perciba a Humboldt como pionero de la ecología. Una reflexión crítica de su propia perspectiva hubiera hecho este magnífico libro de Andrea Wulf aún mejor. Cada tiempo reclama su Humboldt. Y hoy en día es verde.

—Oliver Hochadel
Institución Milà i Fontanals
CSIC



PRIMATES IN THE REAL WORLD
ESCAPING PRIMATE FOLKLORE AND CREATING PRIMATE SCIENCE
Georgina M. Montgomery
University of Virginia Press, 2015

Primatología

Obra de Yerkes

Los chimpancés comparten con los humanos un 98 por ciento del material genético. Pero los humanos han creado religión, ciencia, arte, filosofía y técnica. Durante largo tiempo se pensó que tales diferencias marcaban una divisoria clara e infranqueable. ¿Lo es? ¿En qué medida?

La escena, en el Parque Nacional de Amboseli de Kenia, es, sin duda, impresionante y significativa, hasta el punto de convertirse en una imagen plástica de la evolución de la primatología hasta nuestros días: como en un camposanto, se disponen ordenadas en hilera las tumbas de 17 babuinos asesinados por masáis, que vengaron así la muerte de varias cabras a manos de los primates. Fueron los investigadores los que rindieron ese homenaje a quienes consideraban, en sentimientos y emociones, casi pares. Los hechos sucedieron en 2009.

Hasta llegar a ese punto, la ciencia de la primatología vino precedida por una larga etapa de mitos y leyendas que prendieron en el imaginario popular. Los primates han reclamado desde siempre la atención de zoólogos, naturalistas, aventureros, poetas y escritores. Edward Tyson, experto en anatomía comparada, dedicó ya en 1699 un libro a las semejanzas y diferencias entre el hombre y el orangután: *Orang-outang, sive Homo sylvestris* —en realidad, se trataba de un chimpancé—. Sostenía que, a diferencia de otros primates, poseía un cerebro poderoso, similar al humano, y un hígado indiviso. A finales del siglo XVIII y principios del XIX, Johann Friedrich Blumenbach y Charles White aportaron unas descripciones coloristas de la anatomía de los primates con anotaciones sobre su conducta; los machos aparecían como agresores sexuales que atacaban a las mujeres. White llegó a escribir que de tales cópulas nacía descendencia.

La publicación de la teoría de la evolución de Darwin y el debate en torno a ella pusieron el foco de atención en los primates. *The origin of species*, *The descent of man, and selection in relation to sex* y *The expression of the emotions in man and animals* se convirtieron en lecturas obligadas. En esa trilogía se hacía evidente la intención del autor de establecer una continuidad en el reino animal. Para Darwin, la diferencia entre primates y el hombre era de grado, no de clase.

Hacia 1920, Robert Mearns Yerkes encarriló a la primatología en la senda de la ciencia. Había que descubrir la biología básica de los primates, su reproducción, cognición y conducta social. Urgía crear métodos para observaciones prolongadas

de los primates en su medio natural. Yerkes recabó la financiación y creó el marco institucional y académico requerido. En un principio, trabajó con primates en cautividad, pero los estudios en esas condiciones precarias resultaban sesgados. Solo en su hábitat podían los científicos explicar el comportamiento de los individuos y la interacción con otros miembros del grupo y con otras especies.

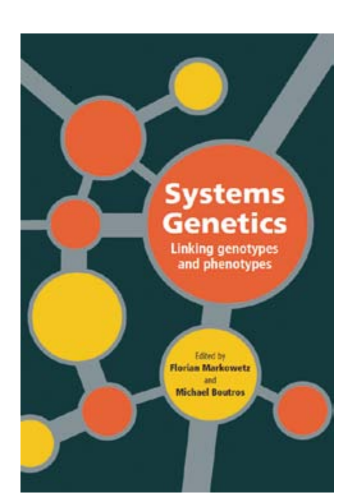
Yerkes se había doctorado en psicología en 1902 por Harvard, con un trabajo sobre las reacciones sensoriales y la fisiología nerviosa de las medusas. En Harvard prosiguió como docente de psicología comparada hasta 1917. En sus primeros trabajos se interesó por la capacidad sensorial de las ranas y por la herencia del comportamiento en los ratones. Escribió por entonces una *Introduction to psychology*, un manual para las clases. Sería la primera de una serie de valiosas aportaciones a la disciplina. Vio en los primates una extensión de su investigación sobre el comportamiento de los ratones. Y así, en 1916, ideó un laboratorio donde explorar si los primates pensaban y razonaban, para, en caso afirmativo, descubrir los procesos implicados. Diseñó un aparato de elección múltiple e ideó problemas de apilamiento de cajas, amén de numerosas técnicas para el estudio de la inteligencia de los primates. Estableció los laboratorios de Yale de biología de los primates en New Haven en 1925.

A finales de los años veinte se produjeron los dos primeros intentos de estudiar primates en la naturaleza. Harold Bingham se centró en los gorilas y Henry Nissen en los chimpancés. Pero carecían de técnicas e instrumentos adecuados, por lo que fracasaron. Fue Clarence Ray Carpenter quien, a comienzos de los treinta, desarrolló herramientas novedosas y eficaces. Estudiando primero monos de Panamá y luego gibones de la jungla de Tailandia, Carpenter puso las bases de una investigación rigurosa en la naturaleza: desde la determinación de los individuos que conformaban un grupo hasta la interpretación de relaciones sociales complejas y el reconocimiento de las comunicaciones.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los estudios primatológicos sufrieron un parón. Duró hasta el verano de 1958, cuando la Sociedad Zoológica de Nueva York organizó una conferencia para debatir la posibilidad de una expedición de campo para el estudio de los primates africanos. Entre los asistentes, Carpenter, Stuart Altmann, John Emlen, George Schaller y Harold Coolidge. De la reunión salió la determinación de que Emlen y Schaller emprendieran un trabajo de campo de un año sobre gorilas de lo que ahora es la República Democrática del Congo. Emlen resistió medio año. Se quedó Schaller, quien computó 466 horas de observaciones y publicó datos abundantes sobre la población, ecología y conducta del gorila de las montañas. Clasificó a los gorilas de acuerdo con la edad y sexo; describió las caras de los individuos y los esbozos de las marcas de su nariz que le permitían identificarlos. En 1963 publicó *The mountain gorilla: Ecology and behavior*.

Siguiendo los pasos de Schaller, Diana Fossey estudió los gorilas de Virungas desde 1967 hasta su asesinato, en 1985. Fossey incorporó a la población local indígena. Conocida es la repercusión en la opinión pública de *Gorillas in the mist* y su alegato contra los furtivos. La inclusión de lugareños en las investigaciones de campo cumplía una importante función práctica (observación continua), al tiempo que facilitaba la comunicación entre la comunidad local y los investigadores.

—Luis Alonso



SYSTEMS GENETICS
LINKING GENOTYPES AND PHENOTYPES

Dirigido por Florian Markowetz y Michael Boutros
Cambridge University Press, 2015

Biología de sistemas

Redes de interacción genética

Los estudios de genética se ocupaban tradicionalmente de la herencia de determinados rasgos y sus fenotipos. Merced a los avances de métodos y técnicas podemos ahora diseccionar de manera cabal la arquitectura genética de caracteres complejos y cuantificar la interacción entre genes para conformar los fenotipos. A ese nuevo dominio de la biología se le denomina genética de sistemas. En su creación han intervenido expertos procedentes de diferentes disciplinas, de la ciencia de la computación a la genética cuantitativa. Y se ha trabajado sobre organismos modelo muy diversos: entre ellos, *Saccharomyces cerevisiae, Drosophila melanogaster* o los propios humanos. Desde la terminación del Proyecto Genoma Humano tenemos en nuestras manos el libro de la vida, pero, en su mayor parte, no sabemos cómo interpretarlo. Carecemos de un manual de instrucciones que nos ayude a desentrañar la gramática en que está escrito. En su ausencia, este libro nos acerca a la comprensión de cómo la información genética se integra, coordina y ensambla en sistemas.

La genética de sistemas es un campo emergente basado en viejos enfoques que se remontan a los trabajos pioneros del agustino Gregor Mendel, cuyos experimentos se centraron en la herencia de caracteres individuales y sus fenotipos; en concreto, en la influencia de alelos específicos sobre el color o el tamaño de los guisantes. Con el nuevo armamento disponible podemos desmadejar las redes moleculares, celulares y fisiológicas que se esconden tras la aparición de propiedades emergentes en los sistemas biológicos. En la labor habrá que combinar un análisis del genoma entero con muchos fenotipos cuantitativos, en el plano molecular y en cuanto organismo, en condiciones dispares y entornos diferentes. No se trata de ninguna utopía. En la levadura de la cerveza, por botón de muestra, se han medido transcriptos, proteínas, metabolitos y rasgos morfológicos de 22 cepas genéticamente distintas, con el fin de conocer mejor el espectro y la estructura de la diversidad fenotípica y las caracte-

rísticas que influyen en la capacidad de predicción de fenotipos.

¿Dónde reside el interés de la genética de sistemas? Muchos caracteres son complejos y no vienen determinados por un solo gen, sino que intervienen combinaciones de alelos. Para conocerlas se recurre a las interacciones genéticas, que dan cuenta también de la heredabilidad oculta. El ejemplo más sencillo de genética de sistemas sería la explicación del modo en que dos genes influyen sobre un solo fenotipo. Esta cuestión y el concepto de epistasis gozan de una larga tradición en genética. Para William Bateson, introductor del término *epistasis*, el fenómeno consistía en el enmascaramiento de un alelo por otro. En una definición estadística de epistasis, Fisher compara el fenotipo observado de un genotipo de dos *loci* con el fenotipo predicho por la simple suma de los efectos de los dos *loci*. Si la predicción del modelo aditivo difiere del fenotipo observado, entonces los dos *loci* son epistáticos.

Estos conceptos se establecieron hace cien años, décadas antes de que se supiera que la información genética se hallaba cifrada en el ADN. Hoy, la definición de interacción generaliza la dada por Fisher, y establece que los genes que interaccionan se identifican por un fenotipo inesperado cuando mutan simultáneamente, lo que no puede explicarse a partir del fenotipo combinado de los mutantes individuales. Las interacciones genéticas pueden considerarse negativas si el fenotipo del mutante combinado es más grave de lo esperado, o positivas, si el fenotipo es menos comprometido que el esperado. Las interacciones sintéticas letales constituyen un caso particular de interacciones genéticas negativas.

En los últimos decenios, la cantidad de información genética ha aumentado vertiginosamente. El primer genoma eucariota secuenciado fue el de *S. cerevisiae*, en 1995. Se ha determinado ya la secuencia del genoma humano. La técnica de micromatrices y otras nos han llevado a la identificación de variantes genéticas y a la capacidad de medir la actividad génica en todo el genoma. Las bibliotecas de deleción génica, interferencia de ARN y mutagénesis de transposones permiten la manipulación de todos los genes de un genoma. Ello significa que la epistasis puede medirse en estudios de asociación que abarquen el genoma entero. Por su lado, la microscopía de resolución, la resonancia magnética funcional y otras técnicas de formación de imágenes permiten medir fenotipos, incluso fenotipos intermedios (estado de la cromatina, modificación de las histonas y expresión génica). A modo de orientación, se ha descubierto en la levadura una parte sustancial de los posibles 18 millones de interacciones genéticas.

El advenimiento de las técnicas de secuenciación ha revolucionado nuestra comprensión y forma de estudiar los sistemas biológicos. Los proyectos de secuenciación del genoma entero se han completado ya en numerosas especies, permitiendo la identificación de la mayoría de los genes componentes del organismo en cuestión. Sin embargo, los fenotipos observados no pueden explicarse por los genes solamente, sino por la interacción que sus productos establecen bajo determinadas condiciones ambientales. Por consiguiente, es a través de esas redes de interacción (reguladora, metabólica, molecular o genética) como entenderemos mejor la relación entre genotipo y fenotipo, la complejidad y la evolución de los organismos, o las diferencias entre individuos de la misma especie.

Son varias las áreas donde la genética de sistemas encuentra porvenir. Los modelos reticulares ayudan a entender e interpretar la función de la genética y de la epigenética en la predisposición y etiología de las enfermedades. De hecho, ha comenzado la caracterización molecular de genomas de tumores, objetos ideales para los análisis de la genética de sistemas, pues abundan en genotipos, presentan diferentes fenotipos celulares, desarrollan una activa evolución clonal e interaccionan con el entorno del organismo y entre células. Tales interacciones influyen en el progreso y pronóstico de la enfermedad, metástasis incluidas.

—Luis Alonso

NOVEDADES



LA HISTORIA MÁS GRANDE JAMÁS CONTADA... HASTA AHORA
¿POR QUÉ ESTAMOS AQUÍ?
Lawrence Krauss
Pasado & Presente, 2016
ISBN: 978-84-944950-8-3
324 págs. (24 €)



FÍSICA DE HOLLYWOOD
Arturo Quirantes
Glyphos Publicaciones y Sello Editorial NAUKAS, 2016
ISBN: 978-84-945386-3-6
320 págs. (19,95 €)



LA SELECCIÓN NATURAL
Charles Darwin
Nørdicalibros, 2016
ISBN: 978-84-16830-05-3
160 págs. (29,50 €)



EL HEREJE Y EL CORTESANO
SPINOZA, LEIBNIZ Y EL MUNDO MODERNO
Matthew Stewart
Biblioteca Buridán, 2016
Edición especial tricentenario Leibniz
ISBN: 978-84-96831-19-3
347 págs. (24,50 €)

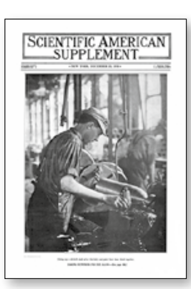
Recopilación de Daniel C. Schlenoff



Diciembre 1966

Ruido

«A los ruidos de nuestra vida diaria se les ha culpado diversamente de la elevada tasa de divorcios, de los conflictos sociales, de las indigestiones y otros trastornos orgánicos, como la depresión nerviosa, la hipertensión arterial, la insuficiencia cardíaca e incluso la demencia. La mayoría de tales acusaciones tiene su origen en unas imaginaciones exageradas. Se han efectuado estudios sobre esos perturbadores efectos entre personas que viven en áreas ruidosas: en el centro de Londres, cerca de su aeropuerto y en varias ciudades estadounidenses, algunas de ellas vecinas a bases aéreas militares. Al parecer, un cuarto aproximado de esas poblaciones vive tranquilamente junto a ferrocarriles elevados, carreteras de tráfico pesado, trayectorias de vuelo de aviones y otros focos de ruidos fuertes. En el otro extremo, en torno a un décimo de los entrevistados parece molestarles casi cualquier ruido no causado por ellos mismos.»



Diciembre 1916

Entrevista a Thomas Alva Edison sobre el trabajo y la mano de obra

«"Los estadounidenses poseen el don de proceder, aun sin querer, con una alta eficiencia. Tomemos como ejemplo a nuestros autos de bajo precio: son algo que Europa no puede entender. Nuestra mano de obra resulta más cara, pero la valía de un obrero de nuestro país es superior a la de uno extranjero. Harían bien los psicólogos en estudiar la agilidad mental de diferentes naciones. Cuando recorría Europa, registraba la agilidad personal de los hombres. Los franceses eran los más rápidos en atender al claxon de mi automóvil. En Suiza casi se podía atropellar a un hombre antes de que este lo oyera. Ello representa el estado mental peculiar de la gente."»

Fiebre porcina

«Para los urbanitas, el de cerdo o puerco es un vocablo connotado de mofa o desdén. Pero los granjeros llaman "salva-hipotecas" a esos animales, porque los ingresos generados por su cría responden en gran medida de la prosperidad de su negocio. Hoy hay 68.047.000 cochinos en EE.UU., cuyo valor se cifra en 571.890.000 dólares. Se estima en no menos de 40.000.000 dólares las pérdidas anuales debidas a la fiebre porcina durante los últimos cuarenta años. Las experiencias realizadas a lo largo de 1914, 1915 y 1916, con vistas al control definitivo de la fiebre mediante cuarentenas, medidas sanitarias y tratamientos con suero preventivo, han demostrado la posibilidad de salvar del 85 al 90 por ciento de los animales.»

Desnevado urbano

«Al igual que el Estado Mayor de un ejército elabora su estrategia y planea sus campañas mucho antes de que se declare una guerra, así es como el Departamento de Limpieza de Calles de la Ciudad de Nueva York se enfrenta a las dificultades de combatir la nieve. Allá donde no actúan camiones equipados con arados quitanieves, el trabajo lo hacen brigadas de operarios de emergencia que empujan las masas de nieve con rascadores (*véase la ilustración*). Los arados se montan en los morros de camiones de cinco toneladas. Idónea para esa tarea es la gran flota de tractores que se emplean en la retirada de basuras.»



1916: Desnevado de emergencia. Una brigada con un antiguo carro de tracción equina trabaja junto al último modelo de quitanieves.

SCIENTIFIC AMERICAN, VOL. CXV, N.º 25, 16 DE DICIEMBRE DE 1916



Diciembre 1866

Patines para disfrutar del hielo

«Que el patinaje se ha convertido en un ejercicio de moda lo evidencia la siguiente declaración referente a los materiales consumidos durante este año por una fábrica de patines de Worcester, en Massachusetts: dos toneladas de latón, 5000 gruesas de tornillos, 50.000 casquillos de latón, 450 kilogramos de metal blanco, casi seis toneladas de palisandro y diez toneladas de acero, convertidos por 35 hombres y mujeres en 25.000 pares de patines.»

Abrigos multicolores

«"Nunca elijas colores al atardecer" es un antiguo dicho, de cuyo valor pueden atestiguar muchos compradores decepcionados. Al ignorar o despreocuparse del consejo, y al considerarse agraciados con una cierta aura de rara excelencia, descubren, cuando vuelve la luz diurna, un color muy distinto al que esperaban. La causa de tal veleidad se explica en un reciente artículo de *Phographic News*. El análisis espectral revela que las llamas de nuestras lámparas o luces de gas contienen sodio, y este, al quemarse, da una llama amarilla, tal como el estroncio la da roja, y el iridio azul. Esa llama altera la naturaleza de los colores, oscureciendo unos y apagando otros.»



FÍSICA

La gravedad cuántica se convierte en ciencia

Sabine Hossenfelder

Experimentos de alta precisión y nuevos métodos de observación abren la posibilidad de medir ciertos efectos de la gravedad cuántica.



BIOMEDICINA

Órganos humanos fabricados por animales

Juan Carlos Izpisúa Belmonte

Se están dando los primeros pasos hacia la producción, en el interior de cerdos, vacas y otros animales, de piezas de recambio para las personas.

COGNICIÓN

Nueva luz sobre las bases del lenguaje humano

Paul Ibbotson y Michael Tomasello

Gran parte de la revolucionaria teoría lingüística de Noam Chomsky, incluida su explicación sobre cómo aprendemos una lengua, está siendo derrocada.

EVOLUCIÓN

La especiación de la orca común

Rüdiger Riesch

La orca común parece estar inmersa en un proceso de especiación, quizás a causa de las diferencias culturales que están distanciando a sus poblaciones.



INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
DIRECTORA GENERAL
Pilar Bronchal Garfella
DIRECTORA EDITORIAL
Laia Torres Casas
EDICIONES Anna Ferran Cabeza, Ernesto Lozano Tellechea, Yvonne Buchholz, Bruna Espar Gasset
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón, Albert Marín Garau
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado, Olga Blanco Romero

EDITA
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Fax 934 145 413
e-mail precisa@investigacionyciencia.es
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN
EDITOR IN CHIEF AND SENIOR VICE PRESIDENT
Mariette DiChristina
EXECUTIVE EDITOR Fred Guterl
MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
DESIGN DIRECTOR Michael Mrak
SENIOR EDITORS Mark Fischetti, Josh Fischmann, Seth Fletcher, Christine Gorman, Clara Moskowitz, Gary Stix, Kate Wong
ART DIRECTOR Jason Mischka
MANAGING PRODUCTION EDITOR Richard Hunt

PRESIDENT Dean Sanderson
EXECUTIVE VICE PRESIDENT Michael Florek
PUBLISHER AND VICE PRESIDENT Jeremy A. Abbate

DISTRIBUCIÓN

para España:
LOGISTA, S. A.
Pol. Ind. Polvoranca - Trigo, 39 - Edificio B
28914 Leganés (Madrid)
Tel. 916 657 158

para los restantes países:
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona

PUBLICIDAD
Prensa Científica, S. A.
Tel. 934 143 344
publicidad@investigacionyciencia.es

SUSCRIPCIONES
Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Tel. 934 143 344 - Fax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

Precios de suscripción:

	España	Extranjero
Un año	75,00 €	110,00 €
Dos años	140,00 €	210,00 €

Ejemplares sueltos: 6,90 euros

El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

Difusión controlada

COLABORADORES DE ESTE NÚMERO
Asesoramiento y traducción:

Juan Pedro Campos: *Apuntes*, *El control sobre el periodismo científico*, *¿Qué hallazgos despiertan mayor interés mediático?* y *Las cuitas del científico divulgador*; Andrés Martínez: *Apuntes* y *Estrategias de los progenitores en la alimentación de las crías*; Javier Grande: *Nudos en agujeros negros supermasivos*; Guzmán Sánchez: *El círculo de la vida*; Sara Arganda: *Una mirada al interior del cerebro*; Blanca Álvarez: *¿Cómo prever y contener epidemias como la del zika*; Fabio Teixidó: *Tras las huellas de El Niño*; Xavier Roqué: *Leibniz y el principio de mínima acción y Einstein y la prensa: una relación tumultuosa*; Bartolo Luque: *¿Influye el tamaño de la escuela en los resultados académicos?*; Mercè Piqueras: *Eliminación de residuos en el reino animal*; Ramón Muñoz Tapia: *Motores mínimos (I)*; J. Vilardell: *Hace...*

ISSN edición impresa 0210-136X Dep. legal: B-38.999-76
ISSN edición electrónica 2385-5665

Imprime Rotocayfo (Impresia Ibérica) Ctra. de Caldes, km 3
08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España


TEMAS 86
INVESTIGACIÓN Y CIENCIA
Edición española de Scientific American
EPISTEMOLOGÍA
La noción cuántica de realidad
FUNDAMENTOS
Teoría cuántica e información
RETOS EXPERIMENTALES
Efectos cuánticos macroscópicos
RETOS TEÓRICOS
Nuevas ideas en gravedad cuántica
6,90 EUROS
InvestigacionyCiencia.es
FRONTERAS DE LA FÍSICA CUÁNTICA
Panorama contemporáneo de una teoría fundamental
3.er TRIMESTRE 2016